

**TOIMENPIDESUOSITUKSIA ILMAVOIMILLE LENTOPAHOINVOINNIN
VÄHENTÄMISEKSI LENTORUK:LLA**

Pro Gradu - tutkielma

Kadetti
Matti Nykyri

Kadettikurssi 90
Ilmavoimien ohjaajalinja

Maaliskuu 2007

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
Kadettikurssi 90	Ilmavoimien ohjaajalinja
Tekijä	
Kadetti Matti Nykyri	
Tutkielman nimi	
TOIMENPIDESUOSITUKSIA ILMAVOIMILLE LENTOPAHOINVOINNIN VÄHENTÄMISEKSI LENTORUK:LLA	
Oppiaine, johon työ liittyy	Säilytyspaikka
Ilmailufysiologia	Kurssikirjasto (MpKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2007	Tekstisivuja 89 Liitesivuja 11
TIIVISTELMÄ	
<p>Lentopahoinvointi alentaa tai jopa vie kokonaan sotilaslentäjän toimintakyvyn. Sitä esiintyy lähinnä vain koulutuksen aikana sotilaslento-oppilailla. Tällöin se hidastaa ja vaikeuttaa koulutuksen etenemistä. Lentopahoinvointi on normaalia ja sen mahdollistavat ihmisen terveiden aistien heikkoudet. Heikkouksiensa johdosta aistit eivät aisti lentokoneen liikkeitä oikein. Virheellisistä liikeaistimuksista syntyy ristiriitoja ja asentoharhoja ihmisen keskushermostossa. Kaksi hyväksytyintä teoriaa siitä, miten nämä harhat aiheuttavat liikesairauden (eli lentopahoinvoinnin), ovat subjektiivisen vertikaalin (subjective vertical) ja sensorisen konfliktin (sensory rearrangement / conflict) teorialat. Kun teorian mukaan liikesairautta aiheuttava ärsyke ilmenee, henkilö alkaa tuntea olonsa epämukavaksi. Liikkeen jatkuessa olo pahenee ja johtaa lopulta oksentamiseen. Lentopahoinvointia voi ehkäistä koulutusjärjestelyillä, omilla ja lennonopettajantoimilla lennonaikana sekä lääkkeillä. Nykyisten lääkkeiden käyttö ei tule kyseeseen lentopalveluksessa. Teoriakoulutuksella ja asenteilla on suuri vaikutus lentopahoinvoinnin ennaltaehkäisyyn. Tehokkain käytännön menetelmä on antaa lentooppilaan ohjata konetta itse, koska hän voi paremmin ennakoida lentokoneen liikkeitä. Lentopahoinvointi poistuu henkilön tottuessa lentokoneen liikkeisiin. Tottuminen poistuu ajan kuluessa, jos henkilö ei lennä. Tauon jälkeen lentopahoinvointia taas ilmenee, mutta uudelleen tottuminen on nopeaa. Huono sää lisää lentopahoinvointia.</p>	
Avainsanat	
Lentopahoinvointi, liikesairaus, subjective vertical, tasapainoasti, kaarikäytävät, aistiristiriita, sensory conflict, desensitization, prevalenssi, etiologia, ennaltaehkäisy	

TOIMENPIDESUOSITUKSIA ILMAVOIMILLE LENTOPAHOINVOINNIN VÄHENTÄMISEKSI LENTORUK:LLA

1 JOHDANTO	1
1.1 Tavoite	2
1.2 Perustelut tutkimukselle	3
1.3 Tutkimusmenetelmät	3
1.4 Rajaukset	4
1.5 Aineiston esittely	5
 2 SOTILASLENTÄJÄN TOIMINTAKYKY JA SEN KEHITTÄMINEN .	8
2.1 Sotilaslentäjät toimintakyky	9
2.1.1 Liikesairaus ja toimintakyky	11
2.2 Sotilaslentäjä toimintakyvyn kehittäjänä	13
 3 IHMISEN ASENTOTAJU	15
3.1 Asento- ja liikeaisti	15
3.1.1 Asentoaisti	15
3.1.2 Liikeaisti	15
3.2 Ihmisen tasapainojärjestelmän reseptorit	16
3.2.1 Näköaisti	18
3.2.2 Tasapainoelin	19
3.2.3 Kaarikäytävät	20
3.2.4 Soikea ja pyöreä rakkula	23
3.2.5 Sisäkorvan ulkopuoliset proprioceptorit	25
3.3 Silmän liikkeet ja refleksit	27
3.3.1 Vestibulo-okulaarinen refleksi	28
3.4 Asentotajun muodostuminen	32
3.4.1 Visuaalinen asentotajun muodostus	33
3.4.2 Proprioseptinen asentotajun muodostus	36
3.4.3 Kuuloaisti asentotajun muodostuksessa	37
3.5 Asentotajuharhat	37
3.5.1 Vektioaistiharhat	38
3.5.2 Virheellinen visuaalinen referenssi	40

3.5.3 Kiihtyvyyssmonikerran harhat	41
3.5.4 Somatogyysiset aistiharhat	44
3.5.5 Okulogyysiset aistiharhat	45
3.5.6 Koriolisharhat	45
3.5.7 Somatograaviset aistiharhat	49
 4 LIIKESAIRAUS	 52
4.1 Yleistä liikesairaudesta	52
4.1.1 Lentopahoinvointi	53
4.1.2 Simulaattorisairaus	54
4.2 Etiologia ja patogeneesi	55
4.2.1 "Sensory mismatch"-hypoteesi	58
4.2.2 "Subjective vertical"-hypoteesi	61
4.3 Liikesairauden ennustettavuus	65
4.4 Liikesairauden ehkäisy ja hoito	67
4.4.1 Ehkäisy ja vastatoimet.	67
4.4.2 Lääkinnällinen hoito.	69
4.4.3 Totuttaminen	69
4.5 Lentopahoinvoinnin prevalenssi	70
4.5.1 Prevalenssi Ilmavoimissa	71
 5 JOHTOPÄÄTÖKSET	 76
5.1 Toimenpidesuosituksia ilmavoimille	78
5.1.1 Valintajärjestelmän kehittäminen	78
5.1.2 Opetussuunnitelman kehittäminen	78
5.1.3 Lentokoulutusohjelman kehittäminen	78
 6 LÄHTEET	 80
6.1 Julkaisemattomat lähteet	80
6.2 Julkaistut lähteet	80
 LIITTEET	 89

TOIMENPIDESUOSITUKSIA ILMAVOIMILLE LENTOPAHOINVOINNIN VÄHENTÄMISEKSI LENTORUK:LLA

1 JOHDANTO

Lentopahoinvointi katkaisee siivet usealta tulevalta sotilaslentäjältä. Se tulee usein täysin tai osittain yllättäen, eikä asianomainen voi juurikaan vaikuttaa lentopahoinvoinnin ilmenemiseen. Se usein lannistaa sotilaslento-oppilaan, koska hän pitää lentopahoinvoinnin syntyä omana henkilökohtaisena heikkoutena. Tällainen käsitys vallitsee tavallisten LentoRuk:laisten keskuudessa. Viisivaiheisissa valintatesteissä käydään heistä läpi lähes kaikki fyysisesti ja psyykkisesti mitattavissa olevat asiat. Valinnan ”kuudennessa” vaiheessa eli Lento Reserviupseerikurssilla luetaan valtava määrä teoriaa ensimmäisen puolen vuoden aikana, minkä jälkeen alkaa itse lentokoulutus. Siinä vaiheessa on kulunut noin vuosi ensimmäisestä valintatestivaiheesta. Vielä näin myöhäisessä vaiheessa saattaa ilmetä lentopalveluksen estävä haitta, lentopahoinvointi. Se voi ilmetä, vaikka kyseisellä henkilöllä ei olekaan koskaan aikaisemmin esiintynyt minkäänlaista liikesairautta. Pahimmassa tapauksessa tämä saattaa selvitä vasta kadettikoulussa. Tämä merkitsee Ilmavoimille hukkaan mennyttä rahaa ja yksilölle hukkaan heitettyjä vuosia.

Valintajärjestelmä testaa lentopahoinvointia hyvin niukasti, koska tällä hetkellä ei vielä ole olemassa keinoa lentopahoinvoinnin yksiselitteiseen testaamiseen. Pahoinvointi on vaikea ja monisäikeinen asia. Siitä voi myös ”parantua”: vaikka lentopahoinvointia esiintyisikin alussa, se yleensä loppuu lentojen edetessä. Monet ilmavoimat ovat kehittämässä itselleen menetelmiä hoitaa lentopahoinvointia, jotta potentiaalisia sotilaslento-oppilaita ei karsittaisi turhaan. Jos pahoinvointi saadaan helposti loppumaan, olisi karsiminen ollut turha sekä ilmavoimille että oppilaalle.

Lentopahoinvointi on todellakin monimutkainen asia, eikä siihen vaikuttavia syitä vielä täysin tunneta. Pahoinvointiin vaikuttaa mm. syöminen, kuumuus, lennon laatu, sää, aikaisemmat kokemukset, tietämys lentopahoinvoinnista ja myös mielentila. Lentopahoinvointiin vaikuttaa myös tehtävä lennolla: kyydissä oleminen aiheuttaa pahoinvointia huomattavasti enemmän kuin itse ohjaaminen. Lentokoulutuksessa on ohjaamossa yleensä kaksi ohjaajaa. Kokematon sotilaslento-oppilas alkaakin usein voida pahoin juuri opettajan ohjatessa tai näyttäessä jotain liikettä. Oppilaan ohjatessa hän hahmottaa itse koneen liikkeet paremmin ja tietää tarkalleen, miten on konetta ohjaamassa ja minne se on seuraavaksi kääntymässä.

Ilmassa oleminen tuntuu monessa tilanteessa hyvin erilaiselta kuin maankamaralla tukevasti seisominen. Ihmistä ei ole suunniteltu lentämään. Ilmassa tulee monissa tilanteissa hyvin outoja aistimuksia ja harhaan johtavia tuntemuksia. Itse olen kokenut muutaman kerran voimakkaita harha-aistimuksia. Yksi voimakkaimmista harhoista tuli, kun olin pitkän aikaa ollut saman puoleisessa kaarrossa mittariolosuhteissa ja oikaisin koneen suoraan lentoon. Hetken päästä ohjasin huomaamattani koneen vähitellen takaisin alkuperäisen suuntaiseen kaartoon. Tällöin tuli epäuskottava tunne siitä, että kone menisi suoraan, vaikka mittarit näyttävät sen kaartavan. Tämä johtuu ihmisen aistien puutteista.

1.1 Tavoite

Tutkimuksessa käydään läpi lentopahoinvoinnista tällä hetkellä saatavissa oleva julkinen ja olennainen tutkittu tieto. Tutkimuksessa pyritään tuomaan esille ihmisen aistien heikkouksia, joiden takia lentopahoinvointia esiintyy. Tällä selvitetään lentopahoinvoinnin etiologia. Etiologia tuntemuksen avulla saadaan tietää lentopahoinvoinnin ennaltaehkäisyn ja hoidon mahdollisuudet. Tutkimuksessa kartoitetaan lentopahoinvoinnin esiintymistä maailmalla ja Ilmavoimissa (prevalenssi). Näiden seikkojen pohjalta pyritään luomaan toimenpidesuosituksia Ilmavoimien opetussuunnitelmaan, jotta Ilmavoimat pystyisi tekemään käytännön toimenpiteitä lentopahoinvoinnin vähentämi-

seksi. Jos lentopahoinvointi saataisiin poistettua lentopalveluksesta, ei hyviä oppilaita tarvitsisi välttämättä poistaa Ilmavoimista. Tutkimusongelmat ovat tiivistetysti:

- Ihmisen aistijärjestelmän heikkoudet, jotka mahdollistavat lentopahoinvoinnin.
- Liikesairauden etiologia ja prevalenssi
- Toimenpidesuosituksien esittäminen Ilmavoimille lentopahoinvoinnin vähentämiseksi

1.2 Perustelut tutkimukselle

”Lentopahoinvointi ja sen oireet ovat -- esteenä nousujohteisen lentokoulutuksen jatkamiselle -- “ (Uggeldahl 2004). Tämä estää oppilasta oppimasta ja hidastaa lentokoulutuksen etenemistä. Se taas aiheuttaa ylimääräistä rahanmenoa Ilmavoimille, koska oppilas tarvitsee ylimääräistä lentokoulutusta tai lentojen uudelleen lentämistä. Myös sotilaslento-oppilaan lentopalveluksen keskeyttäminen ja koko kurssin keskeyttäminen merkitsee Ilmavoimille varojen haaskausta, koska tällöin koko oppilaan koulutukseen laitettu rahamäärä menetetään. Menetetävät rahasummat ovat merkittäviä (Nykyri 2005). Lentopahoinvointi on suurin yksittäinen syy, joka johtaa lentopalveluksen keskeytymiseen. Tämä lentopahoinvointitutkimus on osa Lentosotakoulun lentoturvallisuus ohjelmaa vuodelle 2006.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tieteelliset tutkimukset voidaan jakaa periaatteessa kahteen kategoriaan: laadulliseen ja määrälliseen tutkimukseen. Määrällinen tutkimus on enemmän luonnontieteissä käytetty menetelmä, kun taas laadulliset menetelmät ovat enemmän käytettyjä ihmistieteiden puolella. Laadullisen tutkimuksen oppaat keskittyvät siksi hyvin läheisesti ihmistieteiden puolelle. Laadullinen tutkimus ei kuitenkaan ole yksittäinen tiivis kokonaisuus, vaan sen sisällä on lukuisia eri perinteitä ja variaatioita.

Oma elämäkatsomukseni on hyvin voimakkaasti luonnontieteellinen ja epistemologia korrespondenssiteorian mukainen (Tuomi et al. 2002). Tämä tekee laadullisen tutkimuksen tekemisen hieman ongelmalliseksi, koska Tuomi väittää, ettei objektiivisuutta ymmärretä arvona tämän tyyppisessä tutkimuksessa. Tämän tutkielman tarkoitus on selvittää, mitä käytännön toimenpiteitä voitaisiin tehdä lentopahoinvoinnin ehkäise-

miseksi ja hoitamiseksi. Vertaamalla tätä tietoa opetus suunnitelmiin ja lentokoulutushjelmaan saadaan käytännössä mietittyä, milloin teoriakoulutusta voitaisiin antaa lento-oppilaille ja miten sitä saataisiin otettua huomioon lentokoulutuksessa. Ongelma on ilmailufysiologian alainen. Ilmailufysiologia taas on lääketieteen alalaji. Lääketiede voidaan lukea kuuluvaksi osittain ihmistieteisiin, mutta osittain myös luonnontieteisiin.

Tämä tutkimus on laadullinen tutkimus, jossa suoritetaan systemaattinen kirjallisuuskatsaus tärkeään lentopahoinvoinnista olevaan tietoon. Laadullinen tutkimus on aina tutkijan omaa loogista päättelyä eikä siinä mielessä objektiivista kuin määrällisessä tutkimuksessa tehtävät mittaukset. Siinä mielessä tämä tutkimus on oma subjektiivinen käsitykseni lentopahoinvoinnin hoidosta tutkimuksen lähdeaineiston analyysin perusteella.

Tässä tutkielmassa artikkeleista jäsennellään sisällönanalyysillä lentopahoinvoinnin ehkäisyyn ja hoitoon liittyvä tieto. Sisällönanalyysi on yksi käytetty metodi kirjoitettujen, kuultujen ja nähtyjen sisältöjen analysoimiseksi (Tuomi et al. 2002). Sisällönanalyysi on tekstianalyysiä, jossa aineisto jäsennellään helposti ymmärrettävään muotoon. Sen lisäksi on esitettävä johtopäätökset jäsennellystä aineistosta. Tutkimuksen aineistona on lentopahoinvointia käsittelevät tieteelliset julkaisut. Aineiston hankinnassa käytetään Medline ja Pubmed tietokantaohjelmistoa. Kaikki tärkeät artikkelit pyritään ottamaan tutkimuksen analyysiin mukaan.

Laadullisen tutkimuksen luotettavuus on aina kyseenalaista. Määrällisessä tutkimuksessa päätelmät voi aina perustaa konkreettisiin mitattuihin tuloksiin. Näin on harvoin laadullisessa tutkimuksessa. Tutkimustulokset voivat olla pitkälle tutkijan loogisen päättelyn tulosta. Selkeiden metodien käyttö kuitenkin parantaa luotettavuutta. (Tuomi et al. 2002).

1.4 Rajaukset

Tutkimus on rajattu tarkastelemaan mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja, jotka olisivat Suomen Ilmavoimille määrärahojen ja ajankäytön puitteissa mahdollisia. Näitä rajoituksia asettavat eniten Lentokoulutusohjelma VN 1 ja LentoRuk:in opetussuunnitelma sekä läpivienti. Suurin haaste on loppuunsa hiottu lentokoulutusohjelma, jonka muut-

taminen ei ole yksinkertaista. Yhden asian muuttaminen lentokoulutusohjelmassa saattaisi vaikuttaa lentokoulutukseen negatiivisesti.

Tutkimukseen on otettu laajennettu katsaus sotilaslentäjän toimintakyvystä, ihmisen aistien toiminnasta ja puuteista eli harhoista, koska lentopahoinvointi on itsessään niin vaikea aihe, että ilman näitä osioita jokainen ohjaajalinjan kadetti ei ymmärtäisi tutkielman liikesairausosiota. Sotilaslentäjän toimintakyky on liitetty tutkimukseen mukaan koulutustaidon laitoksen vaatimuksista. Tässä osiossa lentopahoinvointi kytketään osaksi sotilaspedagogiikkaa. Nämä osiot on pyritty tiivistämään niin tiiviiksi kuin mahdollista siten, että liikesairauden ymmärtäminen vielä onnistuu.

1.5 Aineiston esittely

Aineistona kirjallisuuskatsauksessa on käytetty ilmailulääketiedettä käsitteleviä oppikirjoja: Aviation medicine, Fundamentals of Aerospace Medicine, Human performance and limitations ja Lentävä Ihminen. Aviation Medicine ja Fundamentals of Aerospace Medicine ovat ilmailulääkärien käyttämiä hakuteoksia ja oppikirjoja. Tarkempaa tietoa tasapainoelimestä ja pahoinvoinnista on saatu Thomas Brandtin teoksesta: "Vertigo: Its Multisensory Syndromes". Tätä kirjaa on käytetty lähteenä useassa aikaisemmin mainitussa teoksessa. Lisätietoa on haettu useiden julkaisusarjojen artikkeleista. Lähes kaikki aineisto on tarkoitettu luettavaksi jo valmistuneelle lääkärielle. Ne sisältävät paljon muutakin kuin pahoinvointia käsittelevää aineistoa. Kirjoissa on myös erittäin seikkaperäisesti ja tarkasti selitetty ihmisen eri järjestelmien toimintaa. Useat asiat on selitetty paljon tarkemmin kuin niitä on järkevää tässä tutkielmassa käsitellä. Kirjojen tarkkuuden ja sanaston vuoksi olen joutunut käyttämään myös Lääketieteen termit kirjaa, jossa on lyhyesti selitetty lääketieteellisiä termejä ja sanastoa.

Ilmavoimissa on tutkittu liikesairautta ja lentopahoinvointia jonkin verran. Päättäjöitä Ilmavoimissa ovat virkansa puolesta Roope Sovelius, Simo Siitonen ja Tuomas Leino. Sovelius et al. (ks. julkaisemattomat lähteet) tutkivat vielä meneillään olevassa tutkimuksessa kaarikäytävien osuutta lentopahoinvointiin OAK 79:n oppilailla. Uggeldahl (2004) on tutkinut lentopahoinvoinnista aiheutuneita koulutuksen keskeytyksiä. Nykyri selvitti vuonna 2005 tekijöitä, joilla lentopahoinvoinnin haittoja saataisiin vähennettyä Ilmavoimissa. Vuonna 2006 Uddeldahl on julkaisi tutkimuksen lentopahoinvointiin vaikuttavista tekijöistä OAK:lla. Sorvari (2006) on tutkinut asentotajukoulutuksen

merkitystä asentotajun hallinnassa. Asentotaju ei suoraan aiheuta lentopahoinvointia, mutta tutkielmassa on esitetty samoja aistien heikkouksia, joista lentopahoinvointikin syntyy.

Human performance and limitations ja Lentävä Ihminen ovat taas lentäjille tarkoitettuja kirjoja. Ne on tehty ilmailulupakirjojen yhteydessä käytävien teoriakurssien materiaaliksi, siksi ne ovat paljon maanläheisempiä ja helppolukuisempia. Niissä on kuitenkin käyty tasapainojärjestelmää ja lentopahoinvointia vain hyvin pintapuolisesti läpi, joten niissä ei ole tarpeeksi materiaalia tämän tutkielman tarpeisiin. Näistä teoksista kuitenkin löytyy se tieto, mikä lentäjille annetaan heidän suorittaessa teoriaopintoja lupakirjaansa varten.

Kokeellista aineistoa näistä julkaisuista ei kuitenkaan löydy, vaan niissä on ainoastaan teoriapohja ihmisen anatomiasta ja lentopahoinvoinnista. Alkuperäinen ja ajankohmainen tutkimustieto löytyy artikkeleista, joita on julkaistu eri alan julkaisuissa. Mutta itseasiassa näistäkään artikkeleista ei löydy kokonaisia tutkimusraportteja, vaan ainoastaan näistä raporteista tiivistettyjä artikkeleita. Artikkelit ovat kuitenkin niin hienoiksi hiottuja, että ne on hyvin vaikeita lukea. Niissä ei myös juurikaan esitetä alkuperäistä empiiristä materiaalia. Aineistona käytettyjä tieteellisiä julkaisujasarjoja ovat mm. Brain Research Bulletin, Current Opinion in Neurology, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Medical hypothesis, Journal of Neurophysiology jne. Olen käyttänyt näistä lehdistä useita artikkeleita, jotta olen löytänyt kaiken tarvittavan uusimman tiedon.

Näiden lehtien käyttäminen on kuitenkin vaikeaa, koska kokonaisten artikkeleiden saaminen on työlästä. Maanpuolustuskoulun kirjasto ei juuri pysty toimittamaan näitä julkaisuja, vaikka tekevätkin ahkerasti töitä. Yliopistojen kirjastojen kautta osa näistä artikkeleista ovat tilattavissa, mutta se on hidasta ja kankeaa. MpKK:n kirjaston ostama lisenssi suomalaisen kirjakaupan tarjoamaan medlineen osoittautui tätä työtä tehdessä hyödyttämäksi. Ilmainen lääketieteellinen tietokanta pubmed on paljon laajempi ja myös helpompi käyttää. MpKK:n kirjaston medline ei löydä useita artikkeleita, jotka ovat olemassa ja pubmed löytää. Pubmed:istä ja MpKK:n kirjaston medlinestä löytyvät artikkeliviitteet sekä useimpien artikkeleiden tiivistelmät. Helsingin yliopiston terveystieteiden kirjastolla on käytössä Ovid medline, jonka kautta artikkelit ovat kokonaisuudessaan saatavilla. Mielestäni olisi järkevää luopua suomalaisen kirjakaupan medlinestä ja harkita lisenssien hankkimista kunnolliseen tietokantaan, josta koko artikkelit

olisivat saatavilla (esimerkiksi Ovid Medline), koska Maanpuolustuskorkeakoulussa tehdään niin paljon fysiologisia töitä.

Liikesairautta on tutkittu paljon vuosien aikana. Reason (1975) on tutkinut liikesairautta pitkään. Hänen esittämä sensorisen konfliktin teoria on yleisesti hyväksytty etiologia liikesairauteen. Charles Oman on rakentanut Reasonin teoriaan matemaattisen mallin. Hänet tunnetaan asentotaju- ja mikrovetovoimatutkimuksistaan NASA:ssa. Gillingham on tehnyt paljon tutkimustyötä US Navy:lle uransa aikana. Hänen useat tutkimukset ihmisen tasapainojärjestelmästä ovat suunnattu suurimmaksi osaksi sotilasilmailun tarpeisiin. Myös Frederick Guedry on tehnyt uraa uurtavaa tutkimusta US Navy:lle. Hän on tutkinut mm. silmän liikkeitä ja koriolisefektin vaikutusta liikesairauteen. Neurologian professori Thomas Brandt on tehnyt omia tutkimuksiaan huimauksesta ja siihen liittyvistä sairauksista. Näissä tutkimuksissaan hän myös sivuaa liikesairautta. Kaksikko Jelte Bos ja Willem Bles ovat vieneet Hollannin pahoinvointitutkimuksia eteenpäin TNO Human Factors Research Instituutissa. He ovat keskittyneet asentotajuun ja lentopahoinvointiin Hollannin ilmavoimien hyväksi. 1990 luvun aikana heidän tutkimuksensa johtivat Reasonin mallin uudistamiseen ja kehittelyyn. He julkaisivat uuden niin sanotun subjektiivisen vertikaaliteorian pahoinvoinnin synnystä. He tukevat edelleen tätä teoriaa ja ovat rakentaneet Hollannin ilmavoimien totutuskoulutuksen teoriansa ympärille. Von Baumgarten on lähtenyt kehittelemään omaa muista poikkeavaa teoriaa liikesairauden etiologiasta. Hänen teorioissaan liikesairautta aiheuttaisi otoliittien erilaiset massat. Hänen teoriaansa ovat edelleen kehittäneet Lackner ja Diamond.

2 SOTILASLENTÄJÄN TOIMINTAKYKY JA SEN KEHITTÄMINEN

”Sotilaan toimintakyky on sitä, että yksilö pystyy – yksin ja yhdessä toisten kanssa – toimimaan määrätietoisesti ja tilanteen mukaisesti sodan tai sitä alemman asteisen kriisin erilaisissa ympäristöissä” (Toiskallio 1998). Kun puhutaan joukon toimintakyvystä, ei käytetä sanaa toimintakyky, vaan puhutaan mieluumin suorituskyvystä. Joukon kaikkien yksittäisten sotilaiden toimintakyky muodostaa joukon suorituskyvyn, johon sotilaallisen maanpuolustuksen teho perustuu. Sodan aikaisesta suorituskyvystä käytetään käsitettä taistelukyky. Taistelukyky koostuu edelleen pienemmistä osista: taistelutahdosta, taistelijoiden ja yksiköiden koulutustasosta sekä käytettävissä olevasta aseistuksesta ja varustuksesta. Koulutuksen näkökulmasta pidetään peruskäsitteenä toimintakyyä, koska se on suorituskyvyn ja sitä kautta joukon taistelukyvyn perusta. (Toiskallio 1998).

”Toimintakyvyn kehittyminen on sitä, että koulutettavat oppivat toimimaan ja ajattelemaan tavalla, jota taistelukenttä sekä tehtävät ja välineet vaativat yksilöiltä, taistelijapareilta ja joukoilta” (Toiskallio 1998). Toimintakyyä on kehitettävä jatkuvasti rinnan sotatekniikan ja taktiikan kehittyessä. Nykyaikaisessa sodankäynnissä haasteita asettavat seuraavat yleispiirteet:

- Sodan ja rauhan välinen raja on hämärtynyt. Nykyään sodat ovat enemmän pienimuotoisia kriisejä kuin laajamittaisia sotia. Sotaan on liittynyt viimeaikoina tiiviisti terroritoimintaa.
- Hyökkääjän pyrkimyksenä on yleensä nopea toiminta, jolla vaikutetaan suoraan valtion johtoon ja päätöksentekoon. Tähän päämäärään pääsemiseksi ilma-aseen voimakas käyttö ja tiedustelu on välttämätöntä.
- Asutuskeskustaistelut, joissa on seassa siviilejä, aiheuttavat suuria ongelmia sekä hyökkääjälle, että puolustajalle. Puolustaja voi joutua mahdottomaan tilanteeseen suojatessaan siviilejä. Hyökkääjä voi joutua mahdottomaan tilanteeseen puolustajan naamioituessa siviilien sekaan.
- Taistelujen fyysinen ja henkinen rasitus on kasvanut huomattavasti. Taisteluissa korostuvat niin yksittäisten taistelijoiden ja taistelijaparien toiminta kuin johtajien kyky hallita kokonaisuuksia. Eri asejärjestelmien hallinta on myös tärkeää.

2.1 Sotilaslentäjät toimintakyky

Toimintakykyinen hävittäjälentäjä pystyy toimimaan tehokkaasti ja harkitusti kaikissa niissä olosuhteissa ja tilanteissa, joita ilmataisteluun liittyy, jotta parvi saa suoritettua tehtävänsä. Sotilaslentäjän toimintakyvyllä tarkoitetaan sitä, että hän pystyy toimimaan kaikissa niissä olosuhteissa, jotka vaikuttavat häneen taistelujen edetessä. Niitä ovat:

- Kuoleman ja lento-onnettomuuden kasvanut riski ja siitä aiheutuva pelko. Pelkoa lisää myös omien koneiden putoaminen ja onnettomuuksien sattuminen.
- Tilanteiden epävarmuus ja sekavuus
- Väsymys, unen puute ja nälkä

Sotilaslentokoulutuksen tavoite on toiminnan oppiminen. ”Toiminta on tavoitteellinen suorituskokonaisuus” (Toiskallio 1998). Toimintaa on esimerkiksi hävittäjälentäjänä toimiminen. Toiminta koostuu teoista. Teko voi olla esimerkiksi tutkaohjuksen ampuminen vastustajaa kohti LAR:in sisäpuolelta. Teot puolestaan koostuvat perustaidoista, jotka mahdollistavat sotilaslentäjän liikehtimisen hävittäjällä eri geometrioita käyttäen ja asejärjestelmätuntien tilanteeseen, jossa hän on LAR:in sisällä ja voi laukaista ohjuksen. Sotilaslentäjän on kuitenkin ensin osattava perustaidot. Näitä perustaitoja opetellaan Lentokoulutusohjelmissä VN1, VN2 ja HW1. Kun perustaidot osataan, voidaan koulutusta jatkaa tekojen opettelulla. Tekojen opettelu alkaa Lentokoulutusohjelmassa HW2. Siitä eteenpäin tekojen opettelua jatketaan, jotta päätavoite eli toiminta lopulta osataan. Sotilaslentäjän toiminta vaatii äärimmäisen paljon perustaitojen ja tekojen lisäksi tiedollista osaamista. Tiedollista osaamista ovat muun muassa hävittäjän ja asejärjestelmän suoritusarvojen osaaminen, kuten myös ilmataistelumääräysten ja voimakäyttösääntöjen hallinta. (Toiskallio 1998).

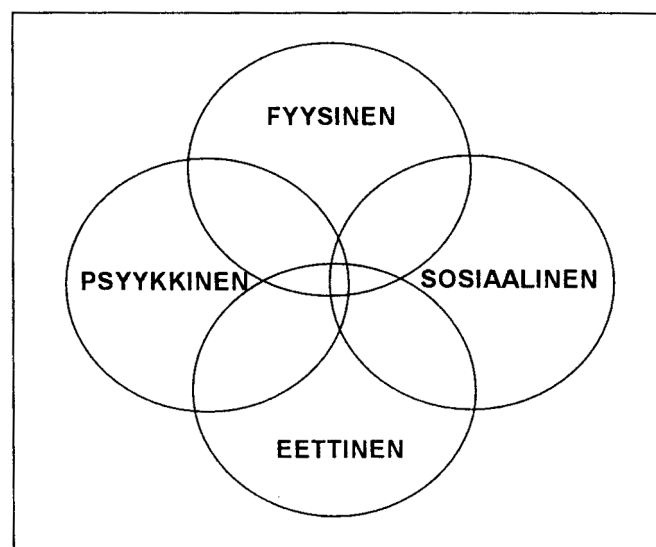
Sotilaslentäjän tehokas toiminta edellyttää, että perustaidot ovat automatisoituneita, jotta huomio voidaan keskittää tehtävän kannalta oikeisiin kohteisiin. Esimerkiksi hävittäjän ohjaaminen on sotilaslentäjän perustoimintaa, jossa sauvan liikuttaminen ja tehon säätäminen oikean lentoradan ja nopeuden saavuttamiseksi on automaattisesti hallittua. Tämän hallitseminen mahdollistaa hävittäjälentäjän ajattelun vapauttamisen liikehännän miettimiseen esimerkiksi näköetäisyyden sisäpuolella tapahtuvassa taistelussa, jotta hän pääsee vihollisen takasektoriin ampuma-asemaan. Mitä korkeampi on automatisaation taso, sitä paremmin sotilaslentäjä voi sopeutua ympäristön muu-

toksiin ja yllättäviin tilanteisiin, joita lentäessä aina tulee esille. Monet lento-onnettomuudet ovat osoittaneet, että tämän automatisaation ollessa liian suurella tasolla lentäjät alkavat tehdä rutiinivirheitä. Rutiinivirheet ovat johtaneet useaan lento-onnettomuuteen, kun lentäjä ei ole tarpeeksi keskittynyt perustoimintaan. Tämä ei ole ainoastaan siviili-ilmailun ongelma, vaan esimerkkejä löytyy runsaasti myös sotilasilmailun puolelta. (Toiskallio 1998).

Toimintakyky jakautuu pieneenpiin osatekijöihin. Tärkeimpiä osatekijöitä ovat:

- Keskeisten tietojen ja taitojen hallinta
- Fyysinen kunto
- Motivaatio, tahto ja rohkeus tehtävien suorittamiseen sekä henkisen paineen sietokyky
- Vastuuntunto
- Asia- ja tilannekokonaisuuksien tajuaminen
- Tavoitteiden ja eri toimintamahdollisuuksien harkittu yhteensovittaminen
- Kyky tehdä eettisiä päätöksiä
- Luottamus itseensä, taistelujapariinsa, esimiehiinsä ja taisteluvälineisiinsä.

Tiivistämällä ja yhdistelemällä näitä tärkeimpiä osatekijöitä saadaan toimintakyvyn neljä pääaluetta. Ne ovat fyysinen, psyykinen, sosiaalinen ja eettinen osa-alue (Kuva 2.1). Kuvan osoittamalla tavalla niillä on runsaasti yhteistä pinta-alaa, mikä tarkoittaa



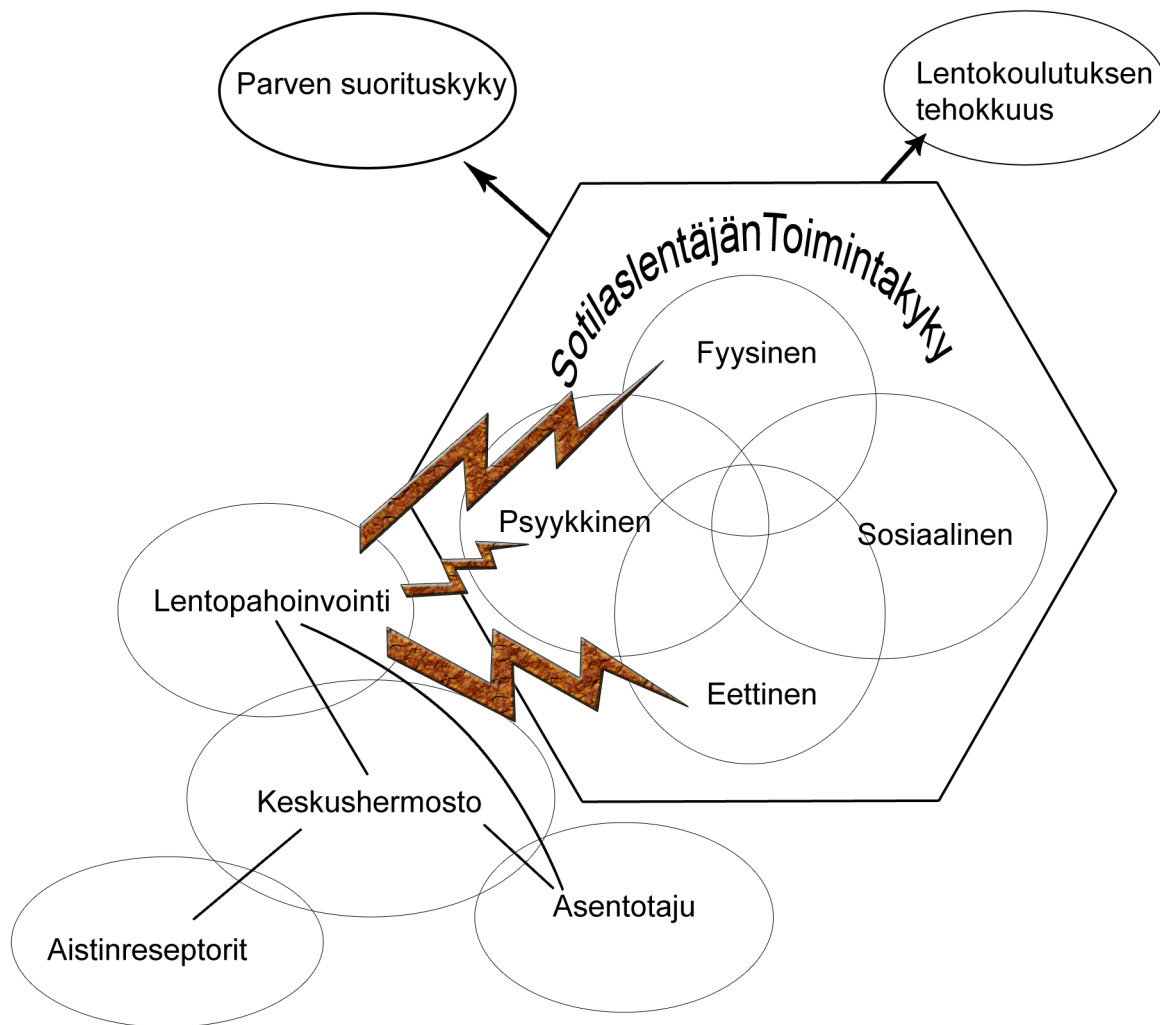
Kuva 2.1 (Toiskallio 1998). Sotilaan toimintakyvyn osa-alueet

sitä, että ne liittyvät vahvasti toisiinsa. ”Esimerkiksi tilanteen tajuaminen on ensisijaisesti psyykkistä toimintaa, mutta havaitsemiseen ja tajuamiseen vaikuttaa vahvasti oma fyysinen tila, sosiaalinen ympäristö (esimerkiksi ryhmän taistelutahto) ja eettinen tietoisuus omasta vastuusta joukkoon kohtaan” (Toiskallio 1998). Jotta parvi olisi tehokas, parven jokaisen sotilaslentäjän on osattava ajatella itsenäisesti, oltava aloiteja yhteistyökykyisiä sekä luotettava niin parven muihin ohjaajiin kuin omaan ja heidän hävittäjiinsä. Heillä on oltava henkinen ja tiedollinen valmius taistella ilman hyvää tilannekuvaa ja taistelujohtajan tukea. (Toiskallio 1998).

Sodan aikana sen aiheuttaman äärimmäisen paineen alla sotilaslentäjän toimintakyky on kiinni hänen itsetunnostaan, rohkeudestaan ja itseluottamuksestaan, sekä luottamuksesta parven muihin ohjaajiin ja muihin parviin, lentueen päälliköihin ja itse hävittäjään. Minkätahansa toimintakyvyn osa-alueen pettäessä pettävät myös edellä mainitut asiat. Tämä johtaa siihen, että sotilaslentäjä ei enää pysty tekemään olennaisia havaintoja ja oikeita päätöksiä, jolloin taidoista ja tiedoista ei ole hyötyä. Tällöin hän lamaantuu ja tulee toimintakyvyttömäksi. (Toiskallio 1998).

2.1.1 Liikesairaus ja toimintakyky

Kuvassa 2.2 on pyritty esittämään lentopahoinvoinnin suhdetta sotilaan toimintakykyyn. Vasemmalla alhaalla ovat ihmisen aistinreseptorit, joita on ympäri koko ihmisen kehoa. Näitä aistinreseptoreita kutsutaan kansankielessä aisteiksi. Aistiensa avulla sotilaslentäjä saa kaiken tietonsa ympäristöstään ja palautteen omista teoistaan. Kaikki aistit välittävät tietonsa keskushermostoon, jossa näitä tietoja prosessoidaan. Osa tiedoista sisältää tietoa sotilaslentäjän liikkeestä ja asennosta. Nämä aistit ovat näköaisti, asento- ja liikeaisti sekä kuuloaisti. Aistitiedot yhdistämällä sotilaslentäjä saavuttaa asentotajunsa. Ristiriitaiset aistitiedot pyrkivät aiheuttamaan lentopahoinvointia eli liikesairautta. Lentopahoinvointi on liikesairautta, joka syntyy lentokoneessa sen liikehtiessä. Sotilaslentäjän kohdalla voidaan aivan hyvin puhua lentopahoinvoinnin sijaan liikesairaudesta, koska ilmiö on aivan sama ja monien eri tutkijoiden teoriat kuvailevat erilaisia keskushermoston aistimia ristiriitoja. Ristiriitojen syntymisessä ei ole olleellista se, mikä väline aiheuttaa liikkeen, josta ristiriidat aiheutuvat. Kaikki Ilmavoimien lentopalveluksessa esiintyvät liikesairaustapaukset ovat joka tapauksessa lentopahoinvointia. Asentotajun ja liikesairauden yhteys on epävarma. Toiset tutkijat ovat sitä mieltä, että asentotajulla ja liikesairaudella on selkeä yhteys, vaikka toisten



Kuva 2.2 Tutkielman viitekehys: Lentopahoinvoinnin suhde sotilaslentäjän toimintakykyyn

mielestä liikesairautta voi esiintyä ilman asentotajun menetystä. Thomas Brandt luokittelee liikesairauden huimaukseksi. Huimaus on virheellinen aistimus rotaatiosta, eli se liittyy suoraan asentotajuun.

Lentopahoinvointi esiintyessään aiheuttaa ensin lieviä oireita. Oireet toki alusta lähtien häiritsevät yksilöä ja lentotehtävän suoritusta eli vaikuttavat sotilaslentäjän toimintakykyyn. Sotilaslentäjä joutuu keskittymään liikesairauden hallintaan ja pahoinvoinnin estämiseen, jolloin hänen perustaitojen ja tekojen suorittaminen vaikeutuu. Sinänsä aistit, asentotaju, keskushermosto ja lentopahoinvointi ovat kehon sisäisiä elementtejä, joten ne voitaisiin tietysti mielessä piirtää myös fyysisen toimintakyvyn sisään. Liikesairauden monimuotoiset oireet iskevät siksi ensin sotilaslentäjän fyysiseen toimintakykyyn. Fyysinen toimintakyky on sotilaslentäjälle äärimmäisen tärkeää (Kuronen et al. 1996 ja Rintala et al. 1996). Nykyaikaiset hävittäjät ovat erittäin suoru-

tuskykyisiä ja asettavat siksi äärimmäisen suuria vaatimuksia sotilalentäjän fyysiselle suorituskyyvylle. Siksi hyvä fyysinen kunto on perusta sotilaslentäjän toiminnalle. Hyvä fyysinen kunto auttaa (Rintala et al. 1996):

- suoriutumaan hyvin vaihtelevien lentotehtävien fyysisistä kuormituksista,
- hyödyntämään paremmin ammatin vaatimat henkiset ominaisuudet,
- palautumaan nopeasti uusiin ja toistuviin lentotehtäviin,
- selviytymään hyvin poikkeusolojen aiheuttamasta fyysisestä ja psyykkisestä paineesta sekä
- selviytymään paremmin pakkolaskun tai heittoistuinhypyn jälkitilanteesta.

Fyysisen toimintakyvyn säilyttäminen on tärkeää sotilaslentäjälle. Fyysinen toimintakyky on ympyröillä yhteydessä myös muihin toimintakyvyn osa-alueisiin. Lentopahoinvointi vaikuttaa voimakkaasti myös psyykkiseen toimintakykyyn. Toimintakyvyn renkaat ovat kuitenkin erittäin voimakkaasti päällekkäisiä. Psyykkisen ja fyysisen toimintakyvyn romahtaminen voi vaikuttaa heti myös eettiseen ja sosiaaliseen toimintakykyyn, koska ohjaaja vain haluaa pois tilanteesta ja voi tehdä ratkaisuja katsoen vain omaa hyvinvointiaan unohtaen parven muut koneet.

Sotilaslentäjän toimintakyvyn romahtaminen vaikuttaa heti koko parven toimintaan. Jos eletään sodan aikaa, tämä äkkiä tarkoittaa yhden koneen menetystä ja pahimmassa tapauksessa jopa koko parven tuhoutumista. Koska lentopahoinvointia ei juurikaan esiinny ohjaajan lentäessä yksin, lentopahoinvoinnilla ei ole juurikaan vaikutusta parven suorituskyykyyn eli sodan ajan taistelukykyyn. Suurempi merkitys sillä on kuvan oikeassa yläkulmassa olevan lentokoulutuksen tehokkuuden kanssa. Lentokoulutuksen kärsiessä sotilaslentäjän toimintakyky ei kasva. Tämä on resurssien tuhlaamista. Koulutus etenisi nopeammin ja tehokkaammin, jos liikesairaus saataisiin karsittua pois.

2.2 Sotilaslentäjä toimintakyvyn kehittäjänä

Toimintakyvyn kehittäminen on sotilaslentäjälle jokapäiväistä työtä. Se alkaa LentoRuk: lta ja jatkuu pitkälle valmistumisen jälkeen. Vielä lennonopettajanakin sotilaslentäjä on sidottu kehittämään ja ylläpitämään omaa toimintakykyään. Tällöin hänellä alkaa tosin olla jo enemmän vastuuta muiden sotilaslentäjien ja sotilalento-oppilaiden toiminta-

kyvyn kehittämisestä. Sotilaslentäjän toimintakyvyn kehittämisen perusta muodostuu seuraavista tekijöistä (Toiskallio 1998):

- Perustaidot: hävittäjän ohjaaminen ja sen asejärjestelmän hallitseminen
- Fyysisen kunnon kehittäminen ja ylläpitäminen
- Itseluottamuksen ja oma-aloitteisuuden kehittäminen

Sotilaslentäjän on tämän perustan lisäksi edistettävä (Toiskallio 1998):

- asia- ja tilannekokonaisuuksien tajuamista
- asioiden ja tapahtumien välisten syy-yhteyksien ymmärtämistä
- taitoa tavoitteiden ja eri toimintamahdollisuuksien harkittuun yhteen sovittamiseen
- kykyä toimia parvessa
- kykyä tehdä eettisesti oikeita valintoja ja päätöksiä.

Näillä eväillä saadaan ilmavoimille koulutettua toimintakykyisiä ja motivoituneita ohjaajia kaikkiin niihin tehtäviin, joita uusi moderni ilmasota edellyttää. Lentokoulutusohjelmasta VN1 alkaen toimintakyvyn rakentamisella päästään tähän tavoitteeseen. Lentopahoinvointi ilmetessään helposti romuttaa toimintakyvyn. Tuntemalla lentopahoinvoinnin piirteet ja keinot välttää sitä sotilaslentäjällä on mahdollisuus päästä tähän tavoitteeseen. Pääkeino, jolla lentopahoinvointi vältetään, on tottuminen hävittäjässä esiintyviin liikeympäristöihin. Tämän tottumisen aikana sotilaslentäjän sisäiset mallit kehon liikkeestä ja dynamiikasta päivittyvät siten, että lentäminen ei enää aiheuta ristiriitoja sisäisen mallin kanssa. Näin lentopahoinvointi ei enää pääse vaikuttamaan sotilaslentäjän toimintakykyyn.

3 IHMISEN ASENTOTAJU

3.1 Asento- ja liikeaisti

Asento- ja liikeaisti eli proprioseptio (proprioceptio la) on toisaalta lihasten ja jänteiden ja nivelpussien reseptorien, ja toisaalta sisäkorvan tasapaino- ja liikereseptorien toimintaan perustuva kyky tuntea jäsenten ja koko elimistön asennot ja liikkeen ilman näköaistin apua (Lääketieteen termit 2004). Tämän aistin reseptoreita kutsutaan yleisesti proprioseptoreiksi (proprioceptor la) (Lääketieteen termit 2004). Reseptorit jaetaan sisäkorvan proprioseptoreihin ja sisäkorvan ulkopuolisiin proprioseptoreihin. Sisäkorvan proprioseptoreihin kuuluvat kaaritiehyeiden cristoilla sekä pyöreän ja soikean rakkulan (eli ns. kuulokivielimen) makuloilla olevat sensoriset hermosolut. Näitä kutsutaan sisäkorvan tasapaino- ja liikereseptoreiksi. Ne tuottavat sisäkorvan tasapaino- ja liikeaistin. Sisäkorvan ulkopuolisiin proprioseptoreihin kuuluvat lihas- ja jännekäämeissä sekä nivelpusseissa sijaitsevat sensoriset hermosolut (Lääketieteen termit 2004). Nämä kaikki reseptorit esitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa.

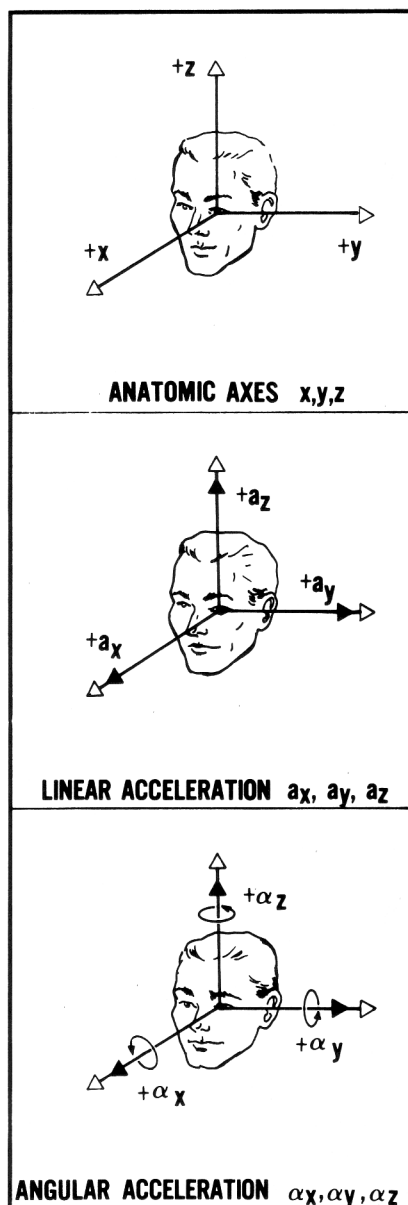
3.1.1 Asentoaisti

Asentoaisti eli asentotunto (posture sense e) on toisaalta lihasten, jänteiden ja nivelpussien reseptorien, ja toisaalta sisäkorvan tasapainoreseptorien toimintaan perustuva kyky aistia elimistön ja sen osien asennot (Lääketieteen termit 2004). Asentoaisti koostuu sisäkorvan tasapainoaistista ja sisäkorvan ulkopuolisesta tasapainoaistista. Asentoaisti on asento- ja liikeaistin osa.

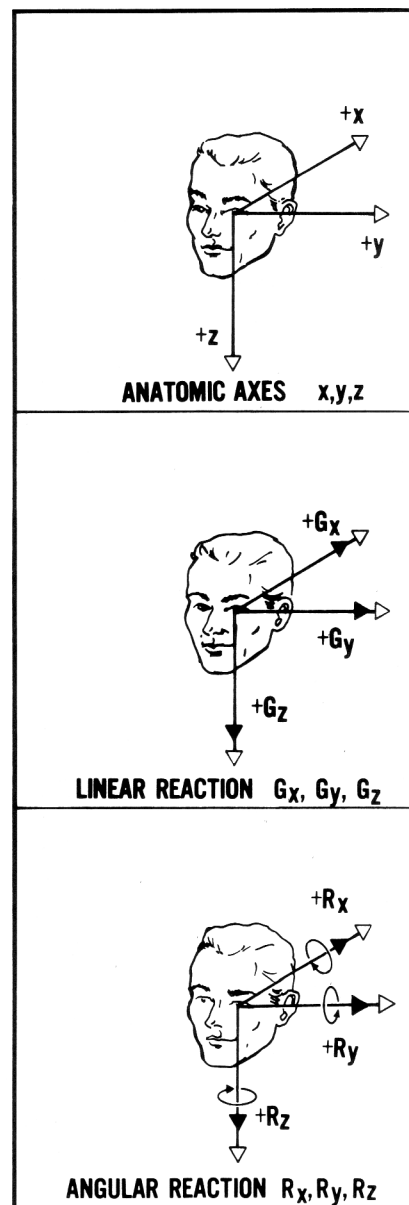
3.1.2 Liikeaisti

Liikeaisti eli liiketunto tai kinaesthesia (kinaesthesia e) on toisaalta lihasten, jänteiden ja nivelpussien reseptorien, ja toisaalta sisäkorvan liikereseptorien toimintaan perustuva kyky aistia elimistön ja sen osien liikkeitä (Lääketieteen termit 2004). Liikeaisti koostuu sisäkorvan liikeaistista ja sisäkorvan ulkopuolisesta liikeaistista. Liikeaisti on osa asento- ja liikeaistia.

PHYSIOLOGIC ACCELERATION NOMENCLATURE



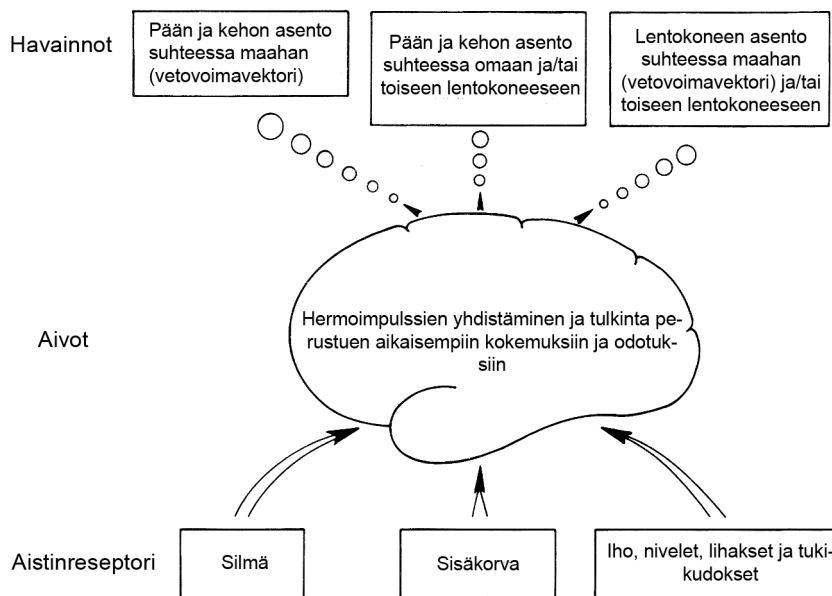
PHYSIOLOGIC REACTION NOMENCLATURE



Kuva 3.1 (Gillingham et al. 1985) Pään akselit kiihtyvyyksien ja inertian kuvailuun. Akseleiden nimet ovat: x- eli frontaali-, y- eli sagittaali- ja z- eli aksiaaliakseli.

3.2 Ihmisen tasapainojärjestelmän reseptorit

Ihmisen kyky määritellä asemansa avaruudessa on opittu taito tulkita aivoihin tulevia viestejä ihmisen reseptoreista. Osa niistä on tähän tarkoitukseen erikoistuneita elimiä. Tällaisia ovat esimerkiksi silmä ja tasapainoelin. Akselit, joiden suhteen liikkeet määritellään, on esitetty kuvassa 3.1. Silmät ovat näistä ihmisen reseptoreista dominoivin ja sen avulla ihminen normaalioloissa määrittelee oman asentonsa suhteessa ympäristöönsä. "Mikäli tämä ei ole mahdollista, hän joutuu turvautumaan tasapainoaihiinsa,



Kuva 3.2 (Benson 1999b) Ihmisen asentotajun luovat järjestelmät

joka koostuu kolmesta osasta: sisäkorvan tasapainoelimen liike-elin (kaarikäytävät) aistii kulmakiinnyvyyksiä (kaartoja, kierteitä ja kallistuksia) ja kuulokivieliin vastaavasti suoraviivaisia kiihtyvyyksiä. Asentoaistin toiminta perustuu ihossa, lihaksissa ja jän-teissä oleviin painetta aistiviin reseptoreihin.” (Vapaavuori et al. 2001). Asentoaistin toiminta on pääpiirteissään kuvattu kuvassa 3.2.

Ihminen on suunniteltu toimimaan 1 G:n ympäristössä kahdessa ulottuvuudessa. Ihminen pystyy määrittelemään oman asentonsa, jäsentensä asennon, ja liikkeensä suhteessa kiinteään ympäristöön. Nämä järjestelmät on kuvattu kuvassa 3.2. 1 G:n ympäristössä ihmisen tasapainojärjestelmä suoriutuukin tästä tehtävästä moitteetto-masti. Kun ihminen siirtyy maan pinnalta ilmaan, tulee asioista monimutkaisempia ja erilaisia verrattuna niihin aistimuksiin, joihin ihminen on jo syntymästään asti tottunut.

Lennettäessä ihmisen on pääteltävä oman asentonsa lisäksi myös lentokoneensa asento. Tämä ei yleensä tuota ongelmaa, koska hän yleensä aina näkee jonkun osan koneesta tai sen mittareista. Näköhavaintoja tukee myös istuinpaikka-aisti, koska sotilaslentäjä on aina tiiviisti kiinnitettynä penkkiin ja saa sitä kautta informaatiota koneen-sa asennosta. (Benson 1999b). Tässä luvussa käsitellään ensin asentotajun saavutta-miseen tarvittavat aistijärjestelmät ja sitten käsitellään illuusioita, joita ihmiselle syntyy hänen lentäessään.

3.2.1 Näköaisti

Näköaistissa on kaksi erilaista toimintatapaa. Näitä kutsutaan perifeeriseksi ja keskeiseksi näöksi. Perifeerinen näkö aistitaan retinan perifeerisiltä alueilta ja vastaavasti keskeinen näkö retinan keskeiseltä alueelta. Keskeisen näön alue on noin 30° näkökentästä keltatäplän ympärillä (Brandt 1991). Normaalisti ihmisen liikkuesssa hän käyttää tasapainonsa säilyttämiseen aina perifeeristä näköä. Perifeeriseltä näöltä tuleva tieto on integroitu aivoissa muiden tasapainoreseptorien informaatioon, eikä sen prosessointi vaadi aivoilta havaittavaa kapasiteettia. Ihminen käsittelee kaiken tämän informaation alitajuisesti eikä kuvan laadulla ole juurikaan merkitystä oikean päätelmän saavuttamisessa. Keskeinen näkö on taas tarkoitettu esineiden tunnistamiseen ja ympäristön havainnointiin. Ihminen ei yleensä käytä keskeisnäköä asentotajun saavuttamiseen. Keskeisen näön alueella tapahtuva liike tulkitaan yleisesti katseltavan kohteen liikkeeksi. Tämän alueen ulkopuolella tapahtuvan liikkeen taas ihminen tulkitsee omaksi liikkeekseen. Perifeerisen näön dominanssista huolimatta ihminen voi kuitenkin saavuttaa oikean asentotajun myös keskeisen näön avulla, mutta se edellyttää hyvin selkeää ja tarkkaa kuvaa sekä huomattavasti suurempaa aivotyöskentelyä ääreisnäköön verrattuna. Kuvan täytyy tällöin olla lähellä keltatäplää, jotta laatu olisi riittävä. (Benson 1999b). Toiminta on myös täysin opittua ja vastakkainen informaatio ääreisnäöstä pyrkii voimakkaasti dominoimaan ja vääristämään keskeisnäköä.

Näkölento-olosuhteissa eli VMC:ssä (visual meteorological conditions) lennettäessä sotilaslentäjä näkee ääreisnäöllään horisontin. Näin asentotaju saadaan helposti perifeerisellä näöllä ja aivokapasiteettia jää paljon enemmän lentämiseen. VMC:ssä lennettäessä perifeerinen näkö onkin ensisijainen asentotajun saavuttamisessa – kuten se on ollut aina vauvasta asti (Benson 1999b). Mittarilento-olosuhteissa eli IMC:ssä (instrumental meteorological conditions) lennettäessä taas keskeisestä näöstä tulee ensisijainen toimintatapa asentotajun saavuttamisessa. Tällöin sotilaslentäjä joutuu aktiivisesti lukemaan mittareita tiedostaakseen koneen asennon. Tämä opittu toiminta vie huomattavasti enemmän kapasiteettia sotilaslentäjältä kuin luonnollinen perifeerisellä näöllä tapahtuva orientaatio.

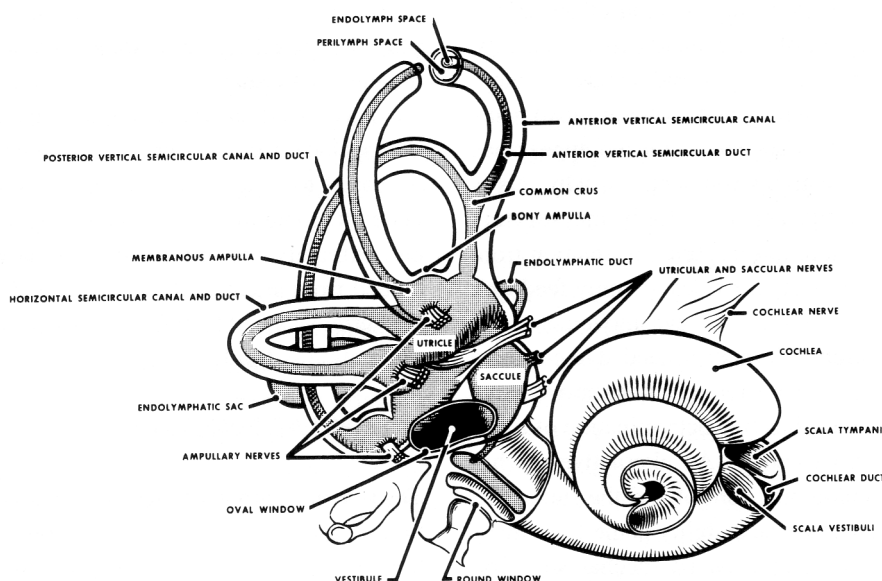
Näköaisti on ihmisen aistijärjestelmän dominoivin osa asentotajun muodostuksessa. Vaikka muista reseptoreista tulisi väärää ja ristiriitaista informaatiota, oikea ja selkeä visuaalinen havainto pyrkii voimakkaasti vaimentamaan kaikki ristiriitaiset muista jär-

jestelmistä tulevat havainnot. Järjestelmien tiedon yhdistäminen on tärkeää vasta siinä tilanteessa, kun ympäristön visuaaliset merkit ovat hyvin vähäisiä.

3.2.2 Tasapainoelin

Vaikka tasapainoelin ei olekaan yhtä dominoiva tasapainon säilyttämisessä kuin näköaisti, on sillä tärkeä tehtävää ihmisen toiminnassa. Evoluution aikana se on kehittynyt kahta tehtävää varten: 1 auttaakseen silmän liikkeitä säilyttääkseen fiksaation terävien käännösten aikana. 2 aistimaan maan vetovoiman suunta, jotta pystyasento voidaan säilyttää myös pimeässä (von Baumgarten 1979). Yksinkertaistetusti ensimmäistä tehtävää hoitavat kaarikäytävät ja toista otoliitit. Eli tasapainoelin saa aikaan refleksit, joiden avulla silmä pystyy säilyttämään kuvan terävänä suurissa kulmakiiktyvyyksissä tai suurissa lineaarisissa kiihtyvyyksissä. Tasapainoelimen avulla opitut ja automaattiset refleksit käyttävät lihaksia ja pitävät kehon pystyssä (vestibulo-spinaali refleksi) (Brandt 1991). Esimerkiksi horjahdettaessa ne estävät kaatumisen siirtämällä jalan eteen. Ilman passiivista liikettä tasapainoelin antaa myös näköaistin puuttuessa tarkan ja oikean tiedon, jonka avulla ihminen pystyy säilyttämään asentotajun (spatial orientation) ärsykkeiden esiintyessä tietyissä luonnollisissa rajoissa. (Gillingham et al. 1985).

Ihmisellä on kaksi tasapainoelintä. Ne sijaitsevat sisäkorvassa molemmilla puolilla päätä. Tasapaino elin on hyvin pieni. Sen läpimitta on vain 1,5 cm. Tasapainoelimen



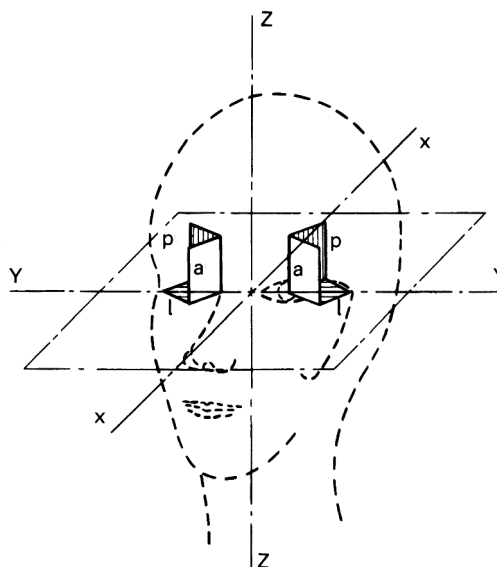
Kuva 3.3 (Gillingham et al. 1996) Tasapainoelin

rakenne on esitetty kuvassa 3.3. Elin on kiinnittynyt lujasti kalloon, jotta se aistii tarkasti kaikki päähän kohdistuvat liikkeet. (Gillingham et al. 1996). Niinkin pienet kuin $0,5^\circ/s^2$ kulma- ja $0,1m/s^2$ lineaarikihtyvyydet ovat tasapainoelimen havaittavissa. Toiminnallisesti elin voidaan jakaa kahteen osaan: kaarikäytäviin ja kuulokivielimiin. Kaarikäytävät aistivat kulmakihtyvyyksiä. Kuulokivielin koostuu säkkimäisistä utriculuksesta (soikea rakkula) ja sacculuksesta (pyöreä rakkula). Nämä sisältävät otoliit-tielimet, jotka ovat erikoistuneet aistimaan pään lineaarista kiihtyvyyttä. Tämän kiihtyvyyden avulla aivot pääättelevät pään kallistuksen. Tasapainoelimen avulla aivot saavat informaatiota pään liikkeistä ja pystyvät saavuttamaan asentotajun. (Benson 1999b)

3.2.3 Kaarikäytävät

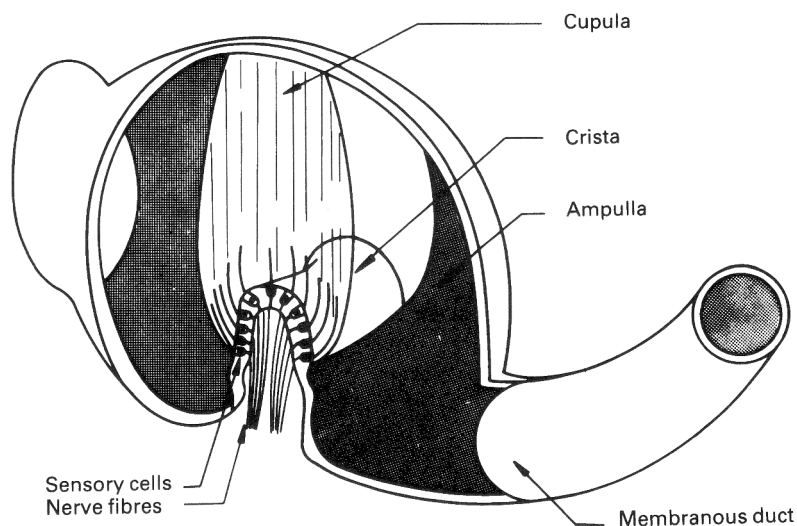
Kaarikäytäviä on kolme kussakin tasapainoelimessä kummallakin puolella päätä. ”Molempien korvien tasapainoelinten samassa tasossa olevat kaarikäytävät toimivat pareittain aistien pyöriviä liikkeitä: kaartoja, kierteitä ja kallistuksia” (Vapaavuori 2005). Yhdessä tasapainoelimessä olevat kaarikäytävät (semicircular canals) koostuvat kolmesta eritasossa olevasta lähes ympyrämäisestä luukäytävästä. Luukäytävän sisällä kulkee noin neljäsosan halkaisijaltaan oleva kaaritiehdyt (semicircular duct). Kaarikäytävän ja kaaritiehdyen välin täyttää perilymfa eli sisäkorvan ulkoneste. Kaaritiehdyen täyttää taas endolymfa eli sisäkorvan sisä neste. Jokaisessa kaarikäytävässä ja -tiehyessä on laajentuma eli ampulla. ”-- joiden (Kaaritiehdyen laajentumien) sisällä sijaitsevat liikeaistin reseptorit.” (Lääketieteen termit 1991). (Benson 1999)

Kuvassa 3.4 on esitetty kaarikäytävien suuntaus suhteessa päähän. Etu- ja takakaarikäytävä ovat 45° kulmassa y-akseliin. Voimakkain aistimus pyöryksestä syntyy, kun se tapahtuu samassa tasossa kuin kyseinen kaarikäytävä on. Kaarikäytäviä on aina kaksi samassa tasossa ja ne toimivatkin pareittain kulmakihtyvyyksiä aistittaessa. Vaakasuorat kaarikäytävät ovat samassa tasossa ja toimivatkin pareina. Mutta vertikaalikaarikäytävillä oikean etukaarikäytävän kanssa samassa tasossa onkin vasen takakaarikäytävä ja vastaavasti vasemman etukaarikäytävän pari on oikea takakaarikäytävä. Vaikka yksikään kaarikäytävä ei ole esimerkiksi samassa tasossa kuin vaakakierre pyörii, pystyvät aivot tulkitsemaan kahdelta eri kaarikäytävältä tulevan tiedon ja pääättelemään akselin, jonka suhteen pyöritään. (Benson 1999b)

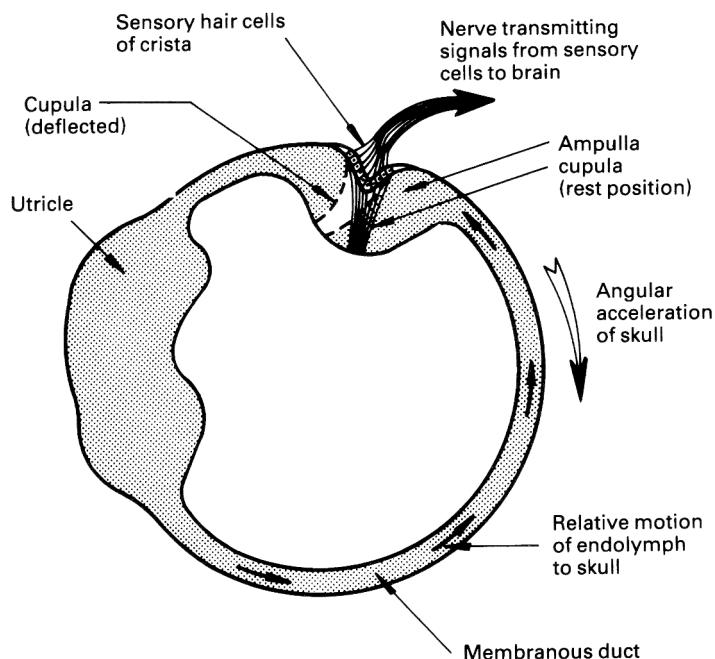


Kuva 3.4 (Benson 1999b) Kaarikäytävien sijainti ja suuntaus päässä. L, a ja p kuvaavat tasoja, joissa sivu- (*canalis semicircularis lateralis*), etu- (*canalis semicircularis anterior*) ja takakaarikäytävä (*canalis semicircularis posterior*) sijaitsevat. X, y ja z kuvaavat pään akseleita.)

Kaaritiehyeen laajentuman sisällä on luinen crista, johon aistinsolut ovat kiinnittyneet (Benson 1999b). Aistinsoluista lähteviä värekarvoja ympäröi hyytelö, jota kutsutaan cupulaksi. Cupula muodostaa ovimaisen esteen kaaritiehyeeseen (Kuva 3.5). Siinä tasossa olevassa kaaritiehyeessä, jossa päätä käännetään, endolymfa pyrkii vastustamaan liikettä inertian ansiosta ja aiheuttaa paineen ja virtauksen tiehyessä.



Kuva 3.5 (Benson 1999b) Leikkauskuva kaaritiehyeen laajentumasta

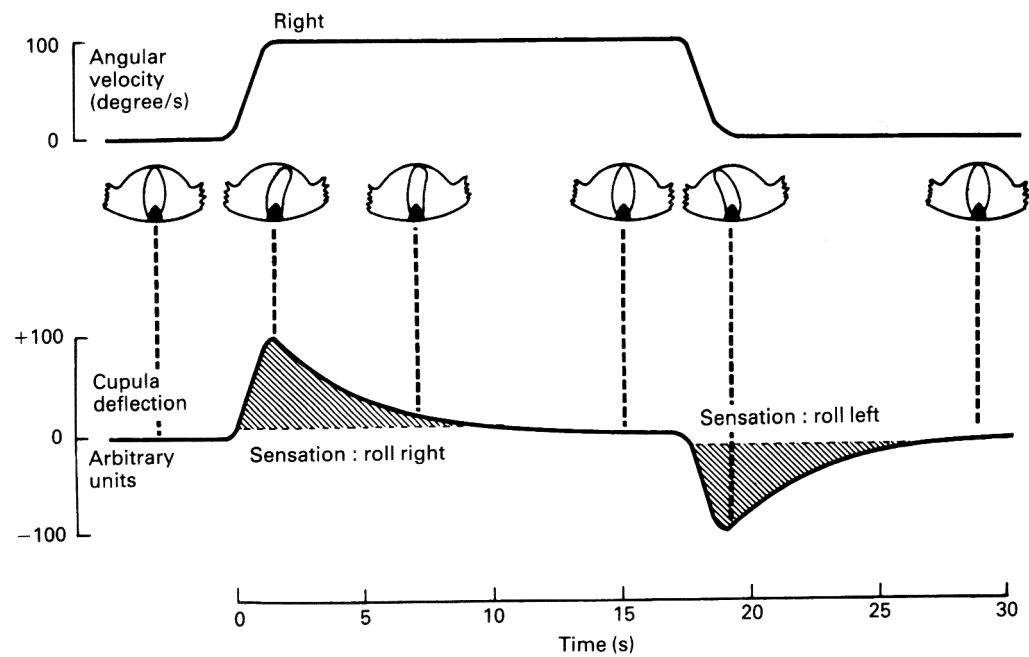


Kuva 3.6 (Benson 1999b) Kaarikäytävien toiminta

Endolymfan liikkuessa nesteen paine taivuttaa cupulaa eli avaa ovea, jolloin aistin-solut aistivat värekarvojen taipumisen ja aivot tulkitsevat sen liikkeeksi (Gillingham et al. 1996). (Vapaavuori 2005). Cupulan taipuminen päätä käännettäessä on esitetty kuvassa 3.6.

Jos liike (pyöriminen) kuitenkin jatkuu tasaisena, tiehyiden ja sisällä olevan endolymfan välinen kitka pyrkii pysäyttämään inertian ansiosta tiehyessä virtaavan nesteen. Nesteen pysähtyessä cupula pääsee myös suoristumaan takaisin omaan neutraali asentonsa, mikä näkyy kuvasta 3.7. Aivot aistivat pyörimisen loppuneen. Kun todellinen pyöriminen lakkaa, jatkaa endolymfa inertian ansiosta pyörimistään ja aivot tulkitsevat tapahtuman virheellisesti pyörimiseksi vastakkaiseen suuntaan kuin alkuperäinen (katso kuva 3.7). Normaalissa elämässä maanpinnalla kahdella jalalla liikuttaessa kiihtyvyydet eivät kuitenkaan ole niin pitkäaikaisia, että virhettä pääsisi syntymään. Kaarikäytävien tuottama informaatio vastakin tällöin hyvin tarkasti todellista liikettä. Hyppimistä, juoksemista ja päänsä nopeita liikkeitä aivot pystyvät tarkasti seuramaan liike-elimien avulla, koska se reagoi liikkeeseen hyvin nopeasti. (Benson 1999b)

Tällainen harha-aistimus voi olla hyvin voimakas näköaistimuksen puuttuessa esimerkiksi mittariolosuhteissa. Se voi syntyä pitkäaikaisesta koneen tasaisesta kaarrosta tai

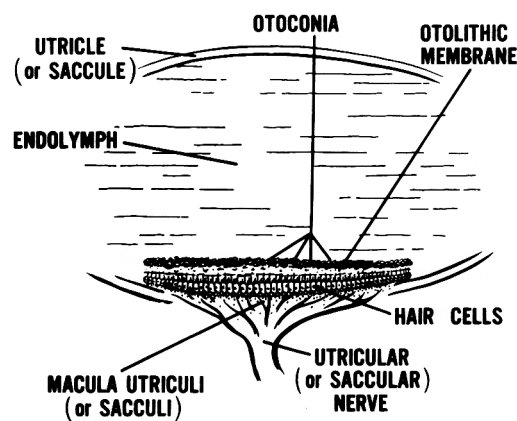


Kuva 3.7 (Benson 1999b) Aistimukset pitkäaikaisessa pyörivässä liikkeessä

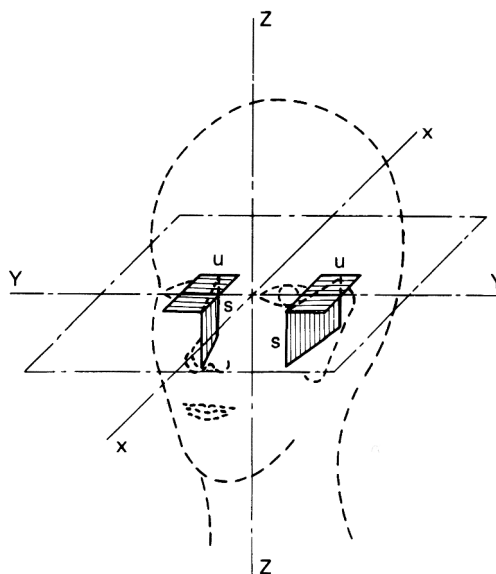
jyrkkenevästä kaarrosta. Joissain tapauksissa se voi johtaa asentotajun menetykseen ja tiedostamattomana jopa onnettomuuteen. (Vapaavuori 2005)

3.2.4 Soikea ja pyöreä rakkula

Soikea ja pyöreä rakkula kutsutaan niin sanotuiksi kuulokivielimiksi (Otolith organ e Gillingham et al. 1996). Kuulokivielimiä on kummassakin korvassa kaksi kappaletta, utriculus ja sacculus. Ne aistivat lineaarisia kiihtyvyyksiä ja pään kallistusta ja niiden



Kuva 3.8 (Gillingham et al. 1996) Soikean ja pyöreän rakkulan (utriculuksen ja sacculuksen) rakenne

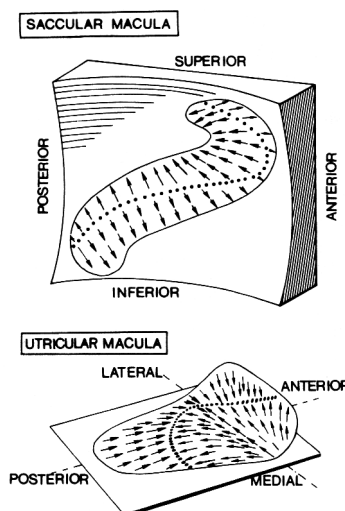


Kuva 3.9 (Benson 1999b) Macula utriculin ja sacculin orientaatio suhteessa pään akseleihin.

rakenne on kuvattu kuvassa 3.8. Niiden herkkyyys aistia kiihtyvyyksien suuruutta ja eroja on $< 0,1 \text{ G}$ (Sorvari 2006). Utriculus sijaitsee kaarikäytävien yhtymiskohdan pohjalla. Sen aistinepiteelialue eli ns. macula utriculi (vrt. crista ampullaris) on lähes sagittaalitasossa. Tarkka suuntaus on kuvattu kuvassa 3.9. Sacculus on erillinen säkimäinen laajentuma utriculuksen alapuolella. Macula sacculi (sacculuksen aistinepiteelialue) on sacculuksen seinällä vertikaalitasossa (kuva 3.9). Makulalla sijaitsevien aistinsolujen päällä on hyytelömäinen tasapainokalvo (Lääketieteen termit 1991), jonka päällä sijaitsevat tasapainokivet. Makuloja ympäröi myös kaarikäytävissä oleva sisäkorvan sisä neste (endolymfa). (Gillingham et al. 1996)

Aistinsolut ovat samanlaisia kuin kaarikäytävien crista ampullariksella. Yhtä solua voi verrata tavallisella saranalla auton kattoon saranoituun keppiin. Jos saranan akseli on poikittain autoon nähden, auton kiihdyttäessä keppi kääntyy auton takaosaa kohti ja vastaavasti auton hidastaessa keulaa kohti. Kuitenkin auton kallistuessa tai kaartaessa keppi kuitenkin säilyy pystysuorassa. Keppi siis kääntyy vain yhden akselin suunnassa kiihtyvyydessä.

Aistinsolussa on keppiä vastaava värekarva. Solu aistii tämän värekarvan taipumista vain yhden akselin suunnassa. Kaarikäytävien cristalla kaikki aistinsolut ovat orientoituneet samansuuntaisesti, joten ne aistivat liikettä vain yhdessä suunnassa. Makuloiden aistinepiteelillä solujen orientaatio kuitenkin vaihtelee. Molemmilla makuloilla on soluja



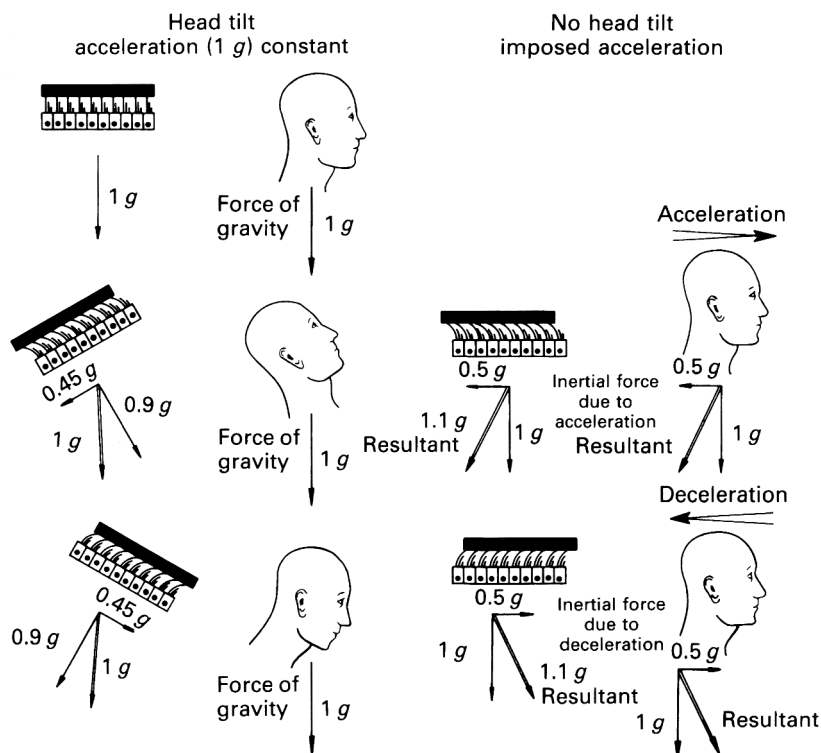
Kuva 3.10 (Gillingham et al. 1996) Solujen orientaatiot makuloilla.

vähintään 90° poikkeutuksella (Gillingham et al. 1996), kuten kuvassa 3.10 on esitetty. Tämän takia makulat pystyvät aistimaan kiihtyvyyksiä omassa tasossaan.

Lineaaristen kiihtyvyyksien kohdistuessa päähän tai sitä kallistettaessa tasapainokalvo, jolla on noin kolminkertainen tiheys verrattuna ympäröivään endolymfaan, taipuu ja taivuttaa myös aistin solujen värekarvoja. Koska soluja löytyy kolmella eri akselilla, jotka ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan, ihminen pystyy aistimaan tarkasti pään kallistuksen tai päähän kohdistuvan kiihtyvyyden suunnan. Kuvassa 3.11 on kuvattuna miten kiihtyvyys ja pään kallistaminen vaikuttavat soikean rakkulan tasapainokiviin. (Gillingham et al. 1996)

3.2.5 Sisäkorvan ulkopuoliset proprioseptorit

Sisäkorvan ulkopuoliset proprioseptorit eli lentäjien niin kutsuma istuinpaikka-aisti saa tietonsa ihossa, nivelissä, lihaksissa ja muualla elimistössä olevista hermopäätteistä. Nämä hermopäätteet aistivat painetta ja jäsenien asentoja. Niiden herkkyys aistia kiihtyvyyksien suuruutta ja eroja on $< 0,1 \text{ G}$ (Sorvari 2006). Aivot kokoavat nämä tiedot ja saavat siten tietoa lineaarisista kiihtyvyyksistä, jotka vaikuttavat kehoon. Istuinpaikka-aisti on sotilaslentäjälle tärkeä, mutta siitä voi olla myös haittaa. Lentämiseen istuinpaikka-aistin refleksejä ei ole ihmisellä luonnostaan, vaan ne opitaan rinta rintaan lentämisen oppimisen kanssa. Esimerkiksi kannuspyöräkoneella rullattaessa istuinpaikka-aisti eli "perstunto" helpottaa huomattavasti koneen pitämistä suorassa.



Kuva 3.11 (Benson 1999b) Kiihtyvyyden ja pään kallistamisen vaikutus soikean rakkulan tasapainokiviin

(Benson 1999b). Istuinpaikka-aistin avulla ihminen myös havaitsee kiihtyvyyshäilymoniker-toja eli G-voimia pakaralihaksissa olevien reseptorien avulla sekä kiihdytystä ja jarru-tusta selän painereseptorien avulla.

Nivelissä ja lihaksissa on myös reseptoreita, joiden avulla ihminen tietää raajojensa asennon ja lihaksien jännityksen. Näihin reseptoreihin perustuu ihmisen kyky löytää esimerkiksi katkaisija ilman näköaistin apua. (Vapaavuori 2005). Reseptorit ovat tärkeä osa myös kaikkien aistihavaintojen yhdistämisessä. Jotta ihminen voi esimerkiksi tietää missä tasossa vartalo pyörii, hänen on tiedettävä missä tasossa vartalo on suhteessa päähän. Pään kaarikäytävien havaitessa kulmakiiktyvyyksiä aivot tietävät missä tasossa pää pyörii. Niskassa olevat reseptorit viestittävät pään asennon suhteessa vartaloon ja ihmisen massakeskiöön. Näin ihminen hahmottaa missä tasossa vartalo pyörii. Niskan reseptorit ovat tärkeitä asentotajussa ja asennon hallinnassa. Niiden vaurioitumisella epäillään olevan vaikutusta erilaisiin tasapainohäiriöihin ja haparointiin. Mekanismeja ei kuitenkaan ole vielä löydetty. (Brandt 1991)

3.3 Silmän liikkeet ja refleksit

Silmän on tarkoitus tuottaa ihmiselle tarkkaa kuvaa ympäristöstä. Jotta silmä pystyy tähän, on kehittynyt erilaisia refleksejä, jotka stabiloivat kuvaa tasapainojärjestelmän mukaan. Silmän refleksejä kutsutaan nystagmukseksi eli silmävärveeksi. Nystagmuksen avulla pystytään helposti tutkimaan ihmisen asentotajua ja sen virheitä, koska nystagmuksen esiintyessä asentojärjestelmä luulee henkilön olevan liikkeessä ja kompensoi liikettä liikuttamalla silmiä. Tästä on ihmiselle hyötyä, jos asentojärjestelmän havaitsema liike on oikean suuntainen ja suuruinen. Asentojärjestelmän rajoitusten takia näin ei kuitenkaan lentäessä yleensä ole, vaan refleksit häiritsevät tai jopa tekevät sotilaslentäjän toimintakyvyttömäksi.

Tahdonalaiset silmän liikkeet koostuvat fiksaatioista (visual fixation), sakkadeista (saccade) ja seurantaliikkeestä (smooth-pursuit eye movement; Thier P et al. 2005). Fiksaatio on silmän paikallaan olo vaihe, kun ihminen tuijottaa paikallaan olevaa kohdetta. Sakkadi taas on katseen hyppy ihmisen vaihtaessa katseensa kohtaa - kuten yleensä tehdään katsellessa. Tavallinen katselu yleensä koostuu vuorottaisista sakkadeista ja fiksaatioista. Lisäksi on vielä seurantaliike, jonka ansiosta ihminen pystyy seuraamaan tarkasti liikkuvaa kohdetta. Seurantaliike on hyvin vaikea toistaa itse ilman liikkuvaa kohdetta. Kuitenkin oikean kohteen liikkeessä seurantaliikkeen latenssit ovat pieniä eli silmä lähtee hyvin nopeasti seuraamaan kohdetta. Seurantaliikkeen latenssit ovat noin 100-125 ms ja sakkadien latenssit 200-250 ms (Krauzlis R. 2004). Tosin vestibulo-okulaarisen refleksin latenssit ovat vielä paljon pienempiä.

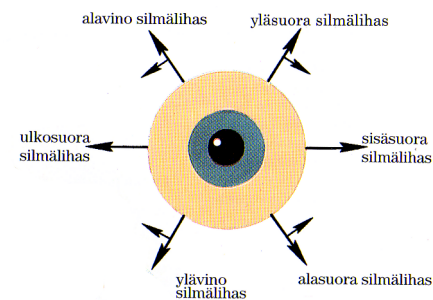
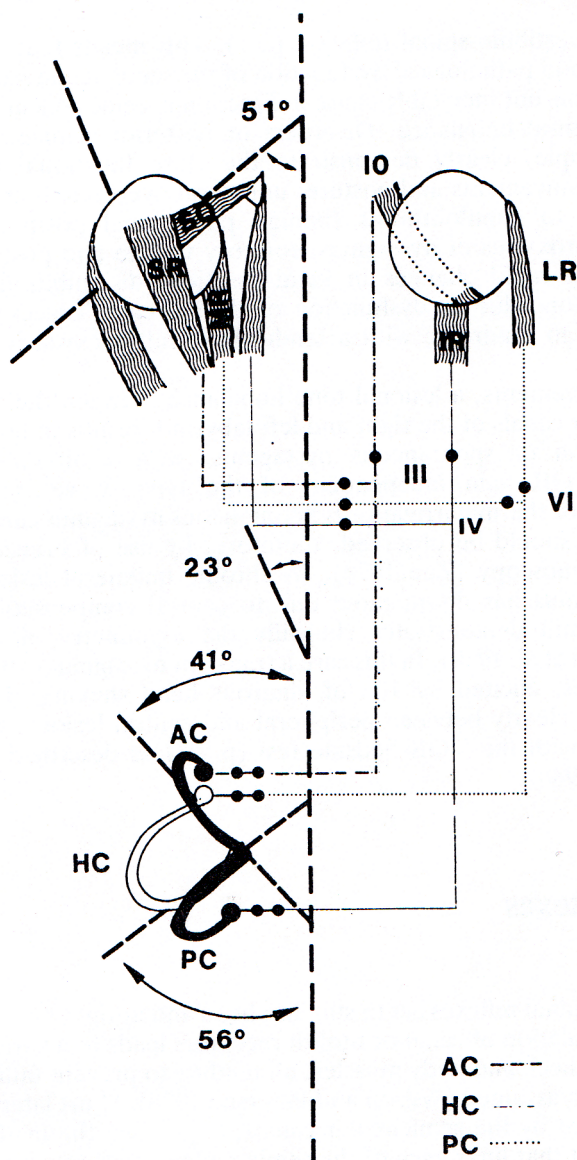
Jotta edellämainitut tahdonalaiset liikkeet toimisivat myös päätä käännettäessä ja kehon liikkeessä, tarvitaan avustavia refleksejä. Refleksit kääntävät silmää oikeaan suuntaan, jotta retinaalikuva pysyisi automaattisesti mahdollisimman tarkasti paikallaan. Tärkeimmät silmän heijasteet eli refleksit ovat vestibulo-okulaarinen refleksi (VOR), optokineettinen refleksi (OKR, tai nystagmus OKN) ja serviko-okulaarinen refleksi (COR eli cervico-ocular reflex) (Brandt T. 1991). Lisäksi on vielä olemassa somatosensorinen nystagmus, mutta sen merkitys sotilaslentäjälle on hyvin vähäinen. Nämä silmän refleksit ovat osittain päällekkäisiä ja pystyvät siten kompensoimaan toistensa heikkouksia. Lisäksi näillä reflekseillä on omat taajuusalueensa, joilla ne ovat herkimmillään. Vestibulo-okulaarisen refleksin tarkoitus on säilyttää katseen suunta avarauudessa päätä käännettäessä (Brandt T. 1991). Sitä käsitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Optokineettinen refleksi taas pyrkii säilyttämään kuvan tark-

kana katseltavien kohteiden liikkua nopeasti ohi kuten esimerkiksi junan ikkunasta maisemaa seurattaessa. Se koostuu peräkkäisistä sakkadeista ja seurantaliikkeistä (visual pursuit). Seurantaliikkeen aikana silmien seuratessa kohdetta sen tullessa silmän ääriasentoon optokineettinen refleksi kääntää silmää nopeasti seurantaliikkeen vastasuuntaan. Tämän jälkeen uusi seurantaliike alkaa seurata uutta kohdetta silmän ääriasentoon asti. Serviko-okulaarisessa refleksissä taas niskan somatosensorit (tuntoreseptori) viestivät pään liikkeitä silmille ihmisen liikuttaessa päätään. Näiden viestien tulisi korreloida tietyillä taajuuksilla tarkasti tasapainoelimeltä tulevien viestien kanssa.

3.3.1 Vestibulo-okulaarinen refleksi

Vestibulo-okulaarisen refleksin tarkoitus on säilyttää katseen suunta avaruudessa päätä käännettäessä. Tämä tekee mahdolliseksi ihmisen liikkua ja päätä käännettäessä lukemisen ja muun toiminnan, joka vaatii tarkkaa katseen säilyttämistä oikeassa kohdassa. Retinaalikuva pidetään paikallaan kääntämällä silmiä oikeaan suuntaan, oikealla nopeudella ja oikea astemäärä. Jos refleksin hienosäätö on pielessä eikä jokin näistä liikkeistä ole kohdallaan, se aiheuttaa retinaalikuvan lipsumista katsottavan kohteen sivuun (Wist et al. 1983, Brandtin mukaan 1991). Tällöin aivot joutuvat aktiivisesti korjaamaan silmän asentoa. Varsinkin jos näkökentässä on hyvin vähän visuaalisia merkkejä, voidaan tällainen lipsuminen tulkita kohteen näennäiseksi liikkeeksi. Tätä katsottavan kohteen näinnäistä liikettä tai heilahtelua kutsutaan oskillopsiaksi (Lääketieteen termit 2004).

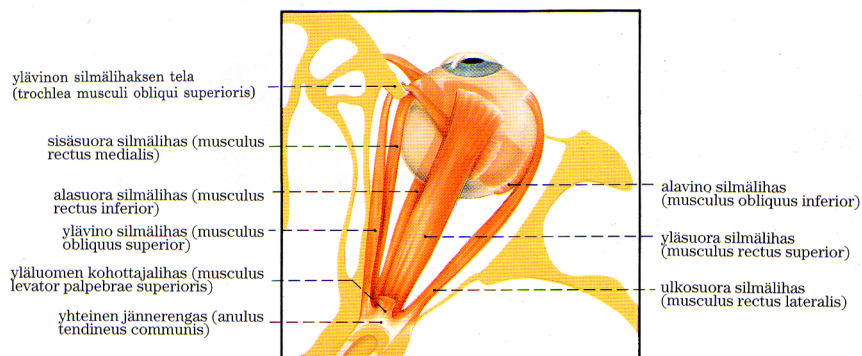
Vestibulo-okulaarinen refleksi on hyvin nopea. Se pystyy vastaamaan liikkeisiin joiden taajuus ulottuu aina 8 hertsiin asti. Refleksiin osallistuu kolme nopeaa neuronaa, joiden latenssi on vain noin 15 ms (Snyder and King 1988, Brandtin mukaan 1991). Refleksi pystyy kääntämään silmää kaikkien kolmen anatomisen akselin eli x-, y- ja z-akselin suhteen (kuva 3.1), vaikka kaarikäytävien akselit eivät olekaan yhdensuuntaisia anatomisten akselien suhteen. Aivojen laskennan vähentämiseksi silmän lihakset sijaitsevat karkeasti samassa tasossa kaarikäytävien kanssa. Silmän lihakset ja niihin kaarikäytävistä tulevat hermot on kuvattu kuvassa 3.12. Kuvassa 3.13 on kuvattu silmän lihasten orientaatio edestä päin. Kuvassa olevat nuolet kuvaavat suuntaa, johon lihas kääntää silmää. Tarkempi kuva silmän lihaksista on kuvassa 3.14.



Kuva 3.13 (Lääketieteen termit 2004) Oikea silmä edestä.

AC: Etukaarikäytävä
 HC: Sivukaarikäytävä
 PC: Takakaarikäytävä
 SR: Yläsuora silmälihas
 MR: Sisäsuora silmälihas
 SO: Ylävino silmälihas
 IO: Alavino silmälihas
 IR: Alasuora silmälihas
 LR: Ulkosuora silmälihas
 III: Silmän liikehermon tumake
 IV: Telahermon tumake
 VI: Loitontajahermon tumake

Kuva 3.12 (Brandt 1991) Kolmen hermosolun eli neuronin vestibulo-okulaarisen refleksin eksitoituvat hermoradat kaarikäytävistä silmän ulkoisiin lihaksiin. Jokaista kaarikäytävää kohden on kaksi silmän ulkoista silmälihasta eri silmässä. Silmälihasparit ovat orientoituneet siten, että ne kääntävät silmää samassa tasossa kuin niitä hermottava kaarikäytävä sijaitsee. Sivukaarikäytävän liikeradat ovat yhteydessä vain loitontajahermon tumakkeen liikehermosoluihin, jotka hermottavat samanpuoleista sisäsuoraa (musculus rectus medialis) ja kontralateraalista ulkosuoraa silmälihasta (m. rectus lateralis). Etukaarikäytävän liikeradat hermottavat samanpuoleista yläsuoraa (m. rectus superior) ja kontralateraalista alavinoa silmälihasta (m. obliquus inferior). Takakaarikäytävän liikeradat hermottavat samanpuoleista ylävinoa (m. obliquus superior) ja kontralateraalista alasuoraa silmälihasta (m. rectus inferior). Kuvasta on jätetty pois aistiradat ja vestibulaaritumake-selkäydinradat (tractus vestibulospinalis).



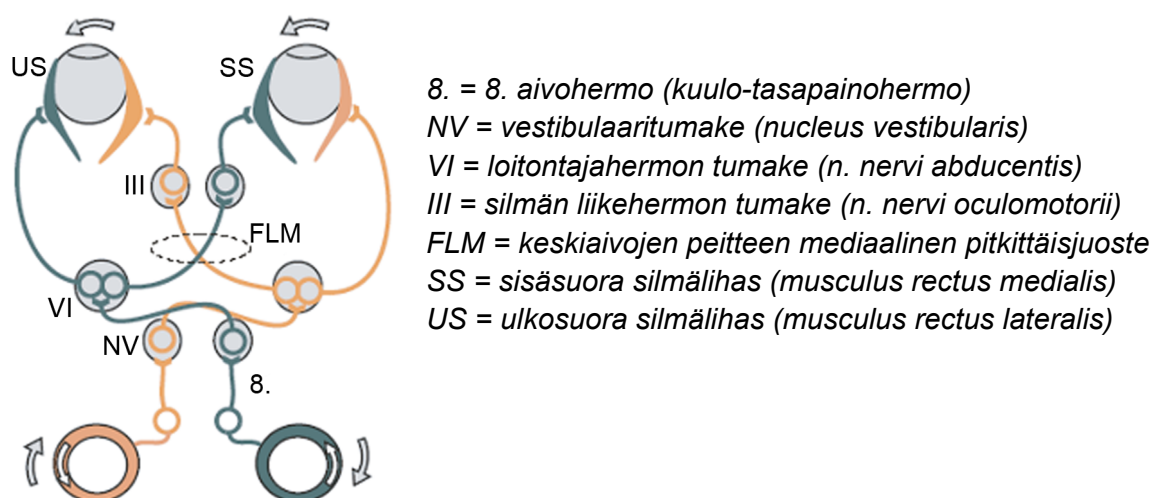
Kuva 3.14 (Lääketieteen termit 2004) Oikean silmän ulkoiset lihakset ylhäältä kuvattuna.

Pään kiertäminen x- eli frontaali-, y- eli sagittaali- tai z- eli aksiaaliakselin suhteen aiheuttaa vestibulo-okulaarisen refleksin kaarikäytävien aistiman rotaation mukaan. X-akselin ympäri tapahtuvaa kiertoliikettä aistivat sekä etu- että takakaarikäytävä, joka aiheuttaa silmää rotatoivan vestibulo-okulaarisen heijasteen. Heijaste rotatoi silmää vastakkaiseen suuntaa verrattuna pään kieroliikkeeseen. Jos pää kuitenkin jää kallistuneeseen tilaan, tasapainokivien refleksi pyrkii säilyttämään silmien kiertyneen asennon. Tällainen silmän kiertorefleksi (ocular counter rolling) ei kuitenkaan ole niin tärkeä näkökyvyn kannalta, koska silmän kiertyminen ei siirrä katseltavaa kohdetta pois fovealta toisin kuin pään kääntäminen ylös ja alas tai vasemmalle ja oikealle (Leigh et al. 1990 Brandtin mukaan 1991), mutta toisaalta kiertorefleksiä tulkitsemalla saattaa olla mahdollista ennustaa liikesairautta (Lackner et al 1987).

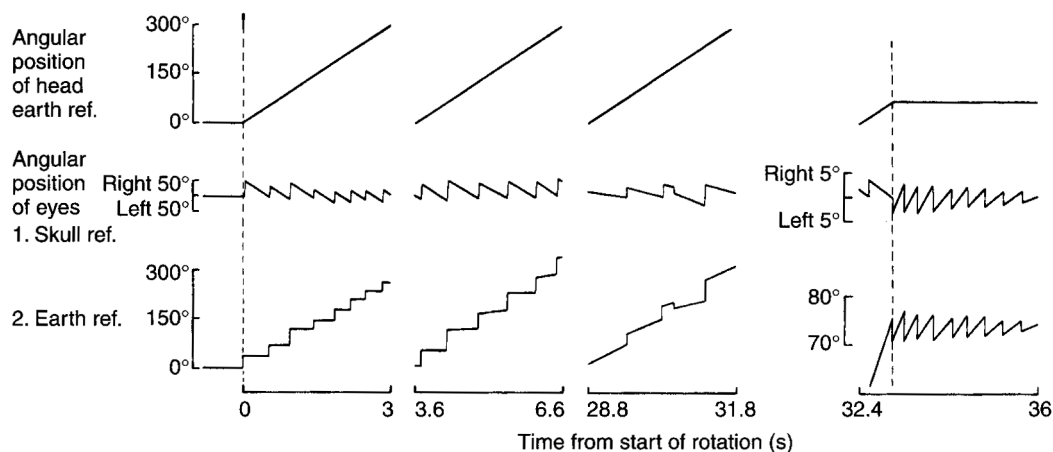
Optokineettisen refleksin ja seurantaliikkeen (smooth-pursuit eye movement) tarkoitus on säilyttää kohde fovealla, vaikka pää tai kohde liikkuisi alhaisella taajuudella. Seurantaliike pystyy vaimentamaan vestibulo-okulaarisen refleksin pään eri kiihtyvyyksien aikana (fixation suppression of the VOR) ja vaimentamaan pään pysähtyessä syntyviä virheelisiä ärsykyksiä kaarikäytävistä (optokinetic after-nystagmus eli optokineettinen jälkinystagmus) (Brandt 1991). Silmävärveiden vähentämiseksi visuaalinen järjestelmä lisää optokineettistä aktiivisuutta kompensoidakseen tasapainoelimiltä tulevia signaaleja (Barret et al. 1988). Barret havaitsi myös, että oikealle suuntautuva optokineettinen nystagmus on vasemmalle suuntautuvaa tehokkaampi. Wist (1988) havaitsi, että aivojen vaimennusmekanismien ansiosta yksilön havaitsema kohteen lipsuminen fovealta on todellista liikettä pienempi. Näin aivot kompensoivat silmän liikejärjestelmän ja vestibulo-okulaarisen heijasteen heikkouksia.

Kaarikäytävien toimintatasot ovat karkeasti samoissa tasoissa, joissa silmän ulkopuoliset lihakset kääntävät silmiä. Kaarikäytävät sijaitsevat pään sisällä ohimoluussa (os temporale) siten, että kaksi kaarikäytävää osuvat karkeasti samaan tasoon (katso kuva 3.12). Kaarikäytävät muodostavat näin pareja, jotka toimivat samassa tasossa. Tämän takia esimerkiksi etukaarikäytävän eksitoituminen aiheuttaa inhiboitumisen vastakkaisen puolen takakaarikäytävässä (Brandt 1991). Kuvassa 3.15 on esitetty tämä eksitoituminen ja inhiboituminen sivukaarikäytävien suhteen. Eksitoituminen ja inhiboituminen yhdessä kääntävät silmää ja näin syntyy vestibulo-okulaarinen refleksi. Sivukaarikäytävien eksitoituminen aiheuttaa silmien kääntymistä vaakatasossa. Tällöin hermoimpulssi kulkee kaaritiehysteestä 8. aivohermoa pitkin vestibulaaritumakkeeseen (nucleus vestibularis) ja sieltä loitontajahermon tumakkeeseen (kuva 3.15). Vasemman silmän ulkosuoraan silmälihakseensa signaali jatkaa suoraan loitontajahermon tumakkeesta. Oikean silmän signaali jatkaa loitontajahermon tumakkeesta keskiaivojen peitteen mediaalista pitkittäisjuostetta (fasciculus longitudinalis medialis segmenti mesencephali) silmän liikehermon tumakkeeseen, josta se menee sisäsuoraan silmälihakseensa. Vasen ulkosuora ja oikea sisäsuora silmälihas supistuvat ja kääntävät silmiä vasemmalle. Etukaarikäytävien eksitoituminen aiheuttaa silmien kääntymistä ylöspäin. Takakaarikäytävien eksitoituminen aiheuttaa silmien kääntymistä alaspäin.

Vestibulo-okulaarinen refleksi heikkenee tasaisen kulmakiiktyvyyden ja sitä seuraavan tasaisen kulmanopeuden aikana, kaarikäytävien heikkouksien takia. Noin puolen minuutin pyörimisen jälkeen vestibulo-okulaarinen refleksi ei enää ole tarkka. Siitä tulee



Kuva 3.15 (Brandt 2003) Vestibulo-okulaarinen refleksi käännettäessä päätä oikealle. Vihreät hermot eksitoituvat ja oranssit inhiboituvat.



Kuva 3.16 (Benson 1999b) Vestibulo-okulaarinen refleksi ja pyöritystä seuraava nystagmus.

tällöin epämääräinen eikä silmä enää saa fiksaatiota ympäröivistä kohteista. Kuvassa 3.16 on kuvattu silmien vestibulo-okulaarista refleksiä laitettaessa ihminen pyörimään z-akselin suhteen. Rotaation alussa silmät pystyvät tarkasti seuraamaan ulkoisia kohteita vestibulo-okulaarisen refleksin tarkasti kompensoidessa pyörimistä. Mutta jo muutamien sekunttien jälkeen silmät alkavat harhautua kohteista ja katseen stabilointi alkaa heikentyä. 30 sekunnin kuluttua vestibulo-okulaarinen refleksi on endolymfan hidastumisen vuoksi heikentynyt. Silmä ei enää kykyne säilyttämään asentoaan suhteessa ulkopuoliseen maailmaan. Pysäytettäessä henkilön rotaatio esiintyy pyörimistä seuraava silmävärve eli nystagmus. Nystagmus on erittäin voimakas ja voi esimerkiksi estää sotilaslentäjää näkemästä koneen ulkopuolelle tai sisäpuolelle.

3.4 Asentotajun muodostuminen

Tasapainojärjestelmänsä avulla ihminen muodostaa asentotajun. Asentotajun on tarkoitus määrittää pystysuoran suunta. Tämä on tärkeää kahdella jalalla seisovalle nisäkkäälle. Ihmisen liikkuminen perustuu asentotajuun eli pystysuoran suunnan tarkkaan määrittämiseen. Ihmisen liikkuessa sille tutussa ympäristössä (siis kävellessään) kaikki aistijärjestelmän tiedot korreloivat toistensa kanssa. Tasapainojärjestelmä on kalibroitu toimimaan erittäin hyvin tilanteissa, joita ihminen kohtaa päivittäin. Jos tasapainojärjestelmä kuitenkin pettää, se johtaa normaali elämässä yleensä kaatumiseen. Tällaisen kaatumisen taustalta voi löytyä useita syitä. Sairaus tai myrkyt (kuten alkoholi) lienevät kuitenkin yleisimpiä. Sotilaslentäjä saattaa kuitenkin kohdata huimausta tai asentotajun menetystä, vaikka olisikin täysin terve. Sotilaslentäjän toimintaympäristö

johtaa aistiharhoihin. Harhat ovat luonnollinen osa sotilaslentäjän toimintaympäristöä. Asentoharhan kasvaessa tarpeeksi suureksi ja kestäessä tarpeeksi pitkään, se voi johtaa pahoinvointiin.

Ihmisen asentoreseptorit eivät kuitenkaan ole lähelläkään täydellisyyttä. Niitä ei ole suunniteltu toimimaan ympäristössä, jossa on pitkäaikaisia kulma- tai lineaarikiihtyvyyksiä sekä -nopeuksia. Lentokonetermeillä reseptoreita voisi verrata poikkeuksellisen paljon ryömiviin mittareihin. Jo puolessa minuutissa tasaisen kaarron aloittamisesta ihmisen tasapainojärjestelmä on ryöminyt takaisin vaakalentotilaan eikä kaartoa enää havaita ilman näköaistia. Se takia asentotajun hahmottamiseksi kaikilta aistijärjestelmiltä saatava tieto yhdistetään aivoissa hyvin alhaisella tasolla eikä sitä tarvitse oppia vaan järjestelmä toimii jo syntymästä asti (Brandt 1991). Näiden hermojärjestelmien avulla toimivat myös kaikki refleksit, jotka pyrkivät säilyttämään retinaalikuvas tarkkana. Refleksit ovat niin alhaisella tasolla, ettei ihminen voi itse vaikuttaa niihin tietoisesti. Ne voivat aiheuttaa harmia sotilaslentäjälle ja joskus jopa inkapasitoida hänet. Silmän refleksit ovat myös paljon monimutkaisempia kuin esimerkiksi polven patella reflexi, jossa viesti kulkee yhtä hermoa pitkin selkäyttimeen ja siellä toista hermoa pitkin takaisin polveen. Silmän ja tasapainojärjestelmän reflekseihin osallistuu useita hermotumakkeita aivoissa.

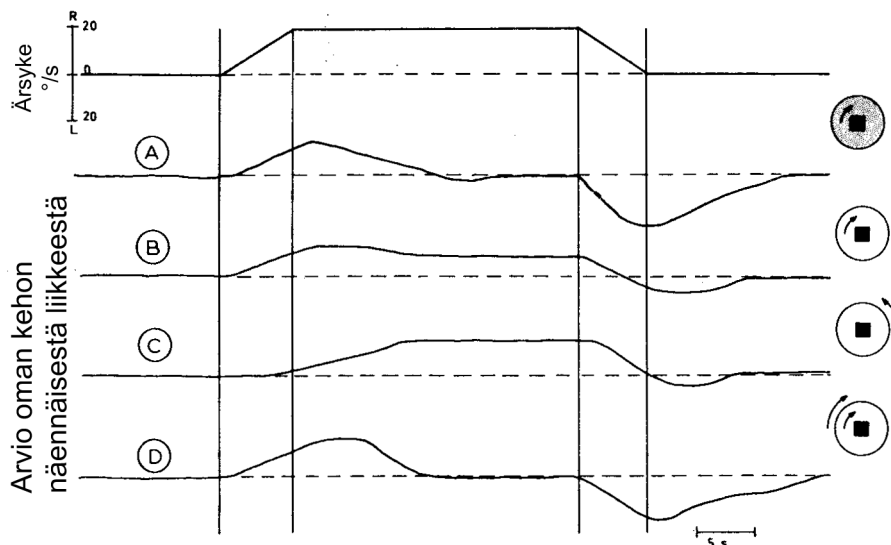
Asentotajun harhoista esitetään tässä vain ne, joilla voi olettaa olevan myöstävaikuttavia tekijöitä lentopahoinvoinnin kehittymisessä. Tarkempaa tietoa kaikista asentotajun harhoista löytyy Sorvarin pro-gradusta (2006) sekä muista lähteistä.

3.4.1 Visuaalinen asentotajun muodostus

Näön merkitystä asentotajun muodostuksessa ei voi vähätellä. Selkeässä visuaalisessa ympäristössä ihminen kykenee säilyttämään asentotajunsa täysin visuaalisten merkkien perusteella. Muut aistijärjestelmät vain tukevat ja auttavat visuaalista järjestelmää eri reflekseillä ja saman suuntaisilla signaaleilla. Jos ihminen kuitenkin liikkuu tasaisesti tasaisella nopeudella esimerkiksi autossa, asento- ja liikeaisti ei pysty tätä havaitsemaan, vaan aistii ihmisen olevan paikallaan. Näköaisti on tällöin ainoa apuväline, jolla ihminen pysyy eksplisiittisesti erottelemaan nopeuskomponentit toisistaan. Sama pätee myös kiihtyvyyksien suhteen, koska asento- ja liikeaisti pystyvät ainoastaan havaitsemaan kiihtyvyyksien resultanttivektorin. Ihmisen itse liikkuessa tämä ei

ole tarpeellista, koska aistittaessa pystysuuntaa (sensed vertical) nopeat kiihtyvyyksien vaihtelut suodatetaan alipäästösuotimella (low pass filter) (Bos et al. 1998).

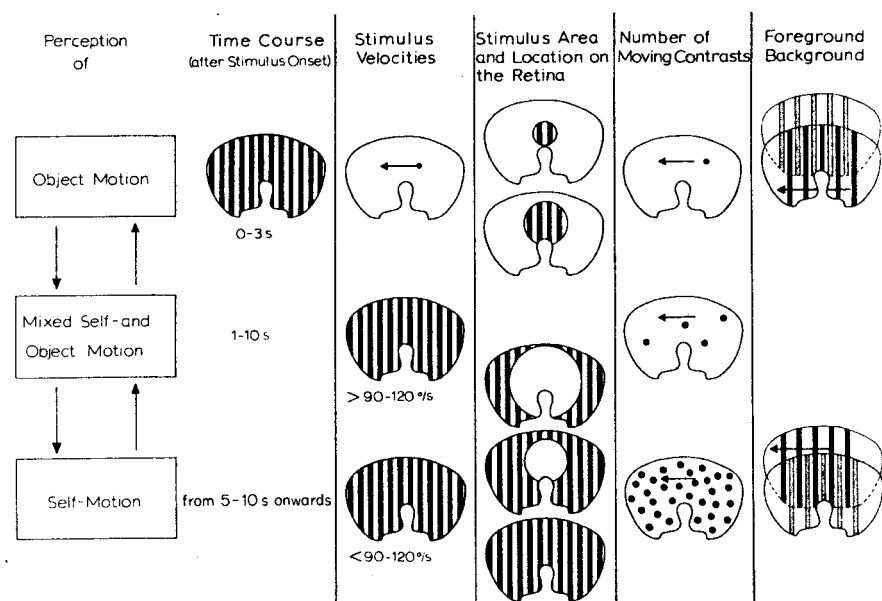
Ihmisen seistessä paikallaan optokineettiset ärsykkeet viestivät näköaistin kautta ihmisen olevan paikallaan. Optokineettinen simulaatio on kuitenkin niin voimakas, että proprioceptorien ärsykkeiden puuttuessa täsmälleen oikeanlainen optokineettinen simulaatio (verrattuna siihen, jos keho oikeasti liikkuisi) tulkitaan kehon eikä ympäristön liikkeeksi. Luonnollisissa olosuhteissa silmien ollessa auki ihminen pystyy suhteellisen tarkasti havaitsemaan sekä passiivisen että aktiivisen liikkeen, vaikka liikkeen nopeus olisi tasainen tai vaihteleva (Brandt 1991). Sisäkorvan proprioceptorien heikkoudet tulevat kuitenkin nopeasti esille, jos henkilöä pyöritetään silmät suljettuina (Kuva 3.17). Sisäkorvan tasapaino- ja liikeaistin antama informaatio liikkeestä syntyy ainoastaan kiihtyvyyksien ja hidastuvuuksien ansiosta. Kitkan pysäyttäessä sisäkorvan sisänesteen ja cupulan suoristuessa tai otoliittien palatessa lepoasentoihinsa liikkeen tunne katoaa nopeasti (Brandt 1991). Tästä syystä tasaista rotaatiota ei voida pidemmän ajan kuluttua enää erottaa paikallaan olost, jolloin hidastuminen tulkitaan



Kuva 3.17 (Brandt 1991) Havaittu näennäinen kehon pyöriminen optokineettisessä suuressa sylinterissä. Kuvassa on esitetty aistittu liike tuolin ja/tai sylinterin pyöriessä ärsykeprofiilin mukaan. Tuolin pyöriessä pimennetyssä rummussa (A) havaittu liike kuvaa karkeasti kaarikäytävien mekaanisia ominaisuuksia. Näin syntyy virhetulkinta liikkeen hidastumisesta ja tuolin pysähtyessä liikkeestä vastakkaiseen suuntaan. Ympäristön ollessa näkyvissä optokineettinen ärsyke kompensoi hyvin kaarikäytävien heikkouksia (B). Pelkän rummun pyöriessä voidaan havaita optokineettisen ärsykkeen aiheuttama tunne pyörimisestä (C). On kuitenkin havaittavissa selkeä latenssi ennen kuin optokineettinen ärsyke tulkitaan kehon pyörimiseksi. Sylinterin pyöriessä tuolin mukana (D) aistijärjestelmä joutuu taas luottamaan tasapainoelimen toimintaan, mikä johtaa virheelliseen rotaation tulkintaan kuten tilanteessa A (Dichgans et al. 1978 Brandtin mukaan 1991).

virheellisesti liikkeeksi vastakkaiseen suuntaan (Kuva 3.17 A). Nämä havainnot tukevat oletusta, että visuaalinen informaatio yhdistetään suoraan tasapainoelimen aistiin liikkeeseen. Aivot kykenevät näin kompensoimaan tasapainoelimen heikkouksia. Brandtin (1991) mukaan tämä integraatio voi olla synnynnäinen sen sijaan, että se olisi opittu toiminto.

Näköaistissa on kuitenkin kaksi toimintatapaa perifeerinen ja keskeinen näkö (ks. kapale 3.2.1). Tämä poikkeaa selkeästi tasapainoelimestä, jolla ei ole kuin yksi toimintatapa: asentotiedon hankkiminen. Keskeisen näön on tarkoitus havainnoida kohteiden liikettä havainnoitsijan pysyessä paikallaan (egosentrinen liikkeen havainto), kun taas perifeerisen näön on tarkoitus aistia havaitsijan itsensä liikettä. Illuusiota siitä, että ympäristö on paikalla ja itse liikkuu kutsutaan vektioksi. Lineaarivektiossa (linearvection Brandt 1991) näennäinen liike on suoraviivaista liikettä (kuten katsottaessa viereiseltä raiteelta lähtevää junaa – kuva 3.20 A). Rotaatiovektiossa (circularvection Brandt 1991) näennäinen liike on rotaatioliikettä (kuten katsottaessa optokineettiseen rumpuun – kuva 3.20 B). Kuvassa 3.18 on esitetty erilaisia optokineettisiä ärsykeitä. Ärsykkeen laadun mukaan aistitaan joko oman kehon tai ärsykkeenä toimivan kuvion liikkuvan. Myös yhdenaikainen aistimus näistä liikkeistä on mahdollinen (kuva 3.18). Yhdenmukainen liike, joka tapahtuu koko näkökentän alueella, johtaa tunteeseen oman kehon liikkeestä eikä sitä voida erottaa todellisesta kehon liikkeestä (Brandt 1991). Optokineettisen ärsykkeen alettua sirkulaarivectio alkaa esiintyä muutamia



Kuva 3.18 (Dichgans et al. 1978 Brandtin mukaan 1991) Optokineettisen ärsykkeen laadun vaikutus siihen, tulkitaanko liike kohteen liikkeeksi vai oman kehon liikkeeksi.

en sekunttien latenssin jälkeen ja kasvaa aina näennäisen nopeuden suuruiseksi. Näennäisen itsepyörimisen suurin nopeus on kuitenkin noin 90-100°/s. Suuremmilla nopeuksilla aivot tulkitsevat tuon rajanopeuden ylittävän nopeuden katseltavan objektin liikkeeksi.

Dichgans et al. (1978) osoittivat, että visuaalinen havainto oman kehon liikkeestä on riippuvainen näkökenttään sattumanvaraisesti sijoitettujen kohteiden tiheydestä ja retinaalisen alueen suuruudesta, jolla kohenrettia ärsykettä esiintyy (Brandt 1991). Jos optikineettiset kuviot ovat alueensa osalta yhtä suuria, tällöin perifeeriselle retinalle syntyvä kuva dominoi aistittua vektiota, kun taas keskeinen näkö on erikoistunut hahmojen tunnistukseen ja itsekeskeiseen kohteiden liikkeiden havainnointiin. Keskeisen näön alue on noin 30° silmän näköakselin ympärillä (Brandt 1991). Jos näkökentässä esitetään ristiriitaista stimulaatiota keskeisessä ja perifeerisessä näkökentässä tai etu- ja taka-alalla, optokineettinen stimulaatio ja sitä seuraava illuusio kehon liikkeestä määräytyy perifeerisen alueen mukaan. Tämä perifeerinen alue ei tarkoita ainoastaan retinan perifeeriseltä alueelta tulevaa näköhavaintoa, vaan myös etäisyyden suhteen perifeerisiltä alueilta tulevaa näköhavaintoa.

3.4.2 Proprioseptinen asentotajun muodostus

Tasapainoelimellä on vain yksi päätehtävä elimistössä. Sen tehtävä on inertian avulla aistia pystysuunta. Elimistön ollessa täysin paikallaan tämä tehtävä on asentoaistille helppo. Koska elimistön proprioseptorit kykenevät ainoastaan aistimaan gravito inertiaalisen resultanttivektorin suunnan (ja suuruuden), proprioseptorit eivät yksinään kykene erottelamaan sitä, onko elimistö vinossa vai vaikuttaako siihen tasainen lineaarinen kiihtyvyys. Jotta liikkuminen olisi mahdollista, tasapainoaistissa on alipäästösuodin (Bos 1998), joka suodattaa pois nopeasti vaihtelevat kiihtyvyydet. Tämän suodimen avulla tasapainoaisti pystyy aistimaan pystysuunnan myös elimistön liikkuesssa. Edellisistä väitteistä välittämättä joissakin erikoistapauksissa tuntoaistin ja proprioseptorien avulla ihminen voi aistia nopeuden. Tällainen tapaus on esimerkiksi sellainen, että ihminen on pimeässä optokineettisessä rummussa ja laittaa kätensä rummun seinämää vasten. Rummun kääntyessä käsi kääntyy sen mukana ja tästä syntyy somatosensorinen (artrokineettinen) nystagmus (Brandt 1991). Syvempi neuroanatominen tarkastelu näiden aistitoimintojen osalta on tämän tutkielman ulkopuolella. Lisätietoa

löytyy esimerkiksi Gillinghamin julkaisusta "Spatial Orientation in Flight" (1996) ja Brandtin teoksesta "Vertigo: its multisensory syndromes - 2nd ed." (2003).

3.4.3 Kuuloaisti asentotajun muodostuksessa

Myös kuuloaistin avulla sotilaslentäjä pystyy saamaan jotain asentotajua auttavaa tietoa. Esimerkiksi päätä kiertävä pilli saa aikaan aistimuksen kehon rotaatiosta ja näin aiheuttaa audiokineettisen nystagmuksen (Gillingham et al. 1996). Nämä ominaisuudet johtuvat siitä, että aivot pystyvät aistimaan äänien tulosuunnan ja nopeuden. Kokenut sotilaslentäjä voi saada kuulon avulla paljonkin myös tiedostamatonta informaatiota hävittäjän tilasta ja asennosta. Kuuloaistin merkitys liikesairauden aiheuttajana on kuitenkin niin vähäinen, että sitä ei tässä tutkielmassa käsitellä tämän tarkemmin. Lisää tietoa aiheesta löytyy esimerkiksi Gillinghamin julkaisusta "Spatial Orientation in Flight" (1996).

3.5 Asentotajuharhat

Kuten on jo monta kertaa todettu, ihminen on suunniteltu kulkemaan itse maanpinnalla, puissa sekä vedessä omilla jaloillaan ja käsillään. Vaikka ihmistä ei ole tarkoitettu liikkumaan autossakaan, ihmisen aistijärjestelmä kykenee riittävän tarkasti aistimaan esimerkiksi autossa tai keinuissa syntyvät vaihtelevat kiihtyvyydet. Nykyihminen kehittyi noin 200 000 vuotta sitten. Ilmassa ihmisiä on kuitenkin nähty vasta aivan viimeisinä vuosina. Tämä sotilaslentäjän työympäristö tuottaa hänen aistijärjestelmälleen suuria haasteita, koska hävittäjässä ja myös alkeiskoulukoneissa koetaan jatkuvasti pitkittyneitä tasaisia lineaari- ja kulmakiihtyvyyksiä. Vaikka sotilaslentäjä tottuu näihin lentämisen vaatimiin haasteisiin, se ei ole hänelle luonnollista. Sotilaslentäjän jäädessä eläkkeelle hän on erittäin kokenut lentäjä. Hänellä on jopa noin 3000 lentotuntia takanaan. "Siihen mennessä hän on viettänyt 347400 tuntia maassa" (Sorvari 2006). Tuntien suhde on tällöin 0,0086:1 (Sorvari 2006). Edes linnut, joiden pääasiallinen liikkumistyyli on lentäminen, eivät ole pystyneet kehittämään sellaista aistijärjestelmää, että asentotajun saavuttaminen olisi ollut mahdollista ilman näköaistin apua. Vain lepakot pystyvät lentämään ilman näkökykyä, mutta nekin ovat kehittäneet kaikusuunnistusjärjestelmän. Alkuasetelmasta voidaan jo päätellä, että lentämisestä seuraa suuria ongelmia sotilaslentäjälle. Nämä ongelmat näkyvät asentoharjojen muodossa. (Gillingham et al. 1996). Asentoharhat voidaan jakaa visuaalisiin ja vestibulaarisiin

harhoihin. Tässä tutkielmassa ei kuitenkaan käsitellä kaikkia asentotajun harhoja, vaan ainoastaan ne, jotka aiheuttavat konfliktin asentotajun muodostuksessa tai vääristävät pystysuoran havaitsemista. Lisätietoa asentotajun harhoista löytyy esimerkiksi Sorvarin tutkielmasta ”Asentotajukoulutuksen merkitys asentotajun hallinnassa” (2006).

Asentotajun harhat jaetaan visuaalisiin ja vestibulaarisiin harhoihin. Visuaaliset harhat, joita tässä tutkielmassa tarkastellaan, ovat:

- Vektioaistiharhat
- Virheellisen visuaalisen referenssin harhat

Vestibulaarisista harhoista käsitellään tässä tutkielmassa:

- Somatogyryiset aistiharhat
- Okulogyryiset aistiharhat
- Koriolisharhat
- Somatograaviset aistiharhat
- Kiihtyvyysharhat

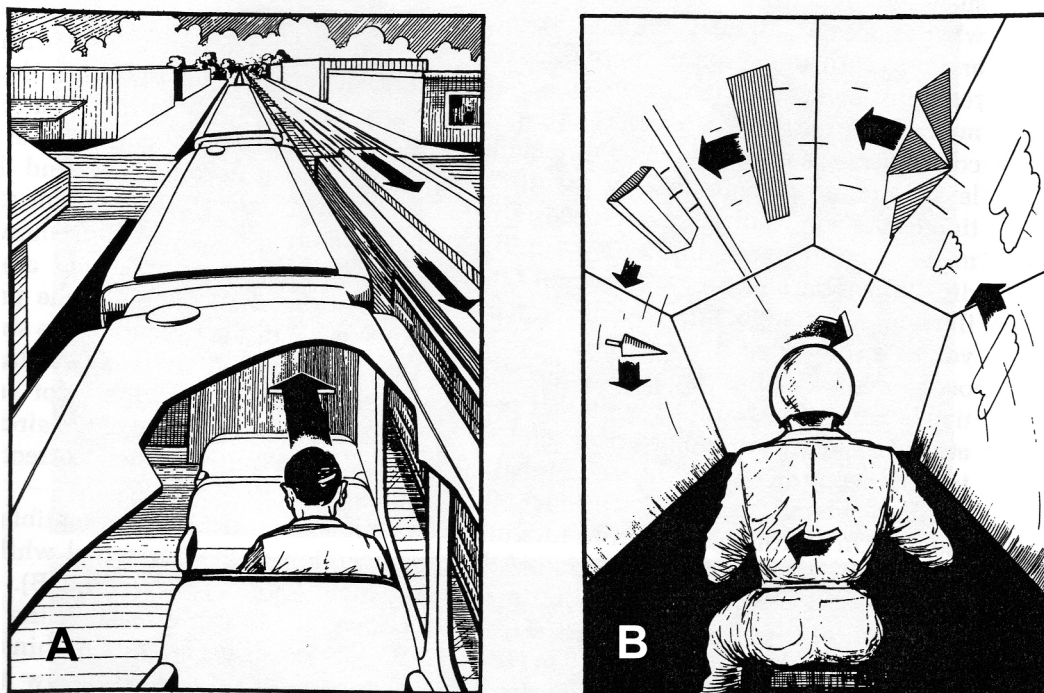
Vestibulaarisia harhoja voidaan myös kutsua huimaukseksi (Benson 1999c). Tässä tutkielmassa asentotajun harhat on esitetty vain yleisesti, koska niiden tarkempi tarkastelu ei ole lentopahoinvoinnin osalta merkittävää. Lentopahoinvoinnin osalta merkittävää on ainoastaan, että ne aiheuttavat ihmisen tasapainoaistille konflikteja, jotka aiheuttavat pahoinvointia. Lisää tietoa asentotajun harhoista on esitetty Bensonin (1999c) ja Gillinghamin (1996) julkaisuista sekä Sorvarin tutkielmasta (2006) (ks. lähdeluettelo).

3.5.1 Vektioaistiharhat

Perifeerisen näön alueella ilmenevät vektioharhat aiheuttavat suuria haasteita sotilaslentäjän aivoille. Harhat voivat olla hyvin voimakkaita ja vaimentaa tai aiheuttaa muita liikeaistimuksia, koska jo pelkkä perifeerinen näkö voi aiheuttaa asentoharhoja. Vektioharha on visuaalisesti syntynyt havainto omasta liikkeestä ja paikallaan olevasta ympäristöstä. Aistimus voi olla lineaarista tai rotaatioliikettä. (Gillingham et al. 1996).

Vektioita on jo osittain käsitelty silmän liikkeiden (luku 3.3) ja visuaalisen asentotajun muodostuksessa (luku 3.4.1).

Vektioharhat ovat tavallisia myös nykyaikaisessa arkielämässä, jossa ihminen käyttää erilaisia välineitä liikkuaan paikasta toiseen. Esimerkiksi seisottaessa autolla punaisissa valoissa, kun viereisellä kaistalla olevan ajoneuvon kuljettaja hivuttaa omaa ajokkia hieman eteen päin, syntyy vektioilluusio siitä, että oma auto liikkuu taaksepäin. Paniikinomainen jarrujen painaminen ei kuitenkaan tuo tässä tilanteessa toivottua lopputulosta. Toinen esimerkki on junasta, joka on pysähtyneenä asemalle. Viereisellä raiteella olevan junan lähtiessä liikkeelle junassa oleva matkustaja helposti aistii oman junan lähteneen liikkeelle vektioharhan ansiosta. Tilanne kuitenkin paljastuu matkustajalle jonkin ajan kuluttua ja hän joutuu edelleen odottamaan junan lähtöä (kuva 3.20 A). Gillingham (1996) mainitsee lisäksi vektioharhojen haittaavan sotilaslentäjän toimintaympäristöön kuuluvaa sulkeismuodossa tapahtuvaa osastolentämistä, koska siipikoneen lentäjä ei pysty esimerkiksi jäädessään hieman jälkeen havaitsemaan hidastuiko oma kone vai kiihdyttikö johtokone. Itse sotilaslentäjänä sulkeismuodossa sekä IMC:ssä että VMC:ssä lentäneenä olen sitä mieltä, että sillä ei ole mitään väliä kummasta syystä jälkeen jääminen johtui, koska siipimies joutuu



Kuva 3.20 (Gillingham et al. 1996) Vektioaistiharha. A. Lineaarivektio. Viereisen junan liike taaksepäin saa havaitsijan tuntemaan, että hän itse liikkuisi eteen päin. B. Rotaatiovektio. Lentosimulaattorissa sotilaslentäjän havaitessa maiseman pyörivän vasemmalle johtaa havaintoon pyörimisestä itse oikealle.

kuitenkin itse aktiivisesti korjaamaan paikkansa. Mielestäni mittariosastossa esiintyy muitakin harha-aistimuksia niin paljon, että en ole itse vektioharhaa ikinä havainnut.

Edellä mainitut harhat ovat kaikki lineaarisia harhoja. Rotaatioliikkeestä syntyviä harhoja on arkielämässä paljon vähemmän. Tosin lentäjälle voi syntyä rotaatioliikkeen aiheuttama vektioharha esimerkiksi lennettäessä pilvessä lentokoneella, jossa on pyörivä vilkkumajakka. Vinkassa ei kuitenkaan ole tällaista majakkaa, joten sitä ei esiinny suomalaisen sotilaslento-oppilaan toimintaympäristössä. Rotaatioliikkeestä syntyviä harhoja käytetään lähinnä tutkittaessa aisteja, kuten on luvun 3.4.1 esimerkeistä voi havaita. Lisäksi nykyaikaiset lentosimulaattorit hyödyntävät vektioharhoja tehokkaasti luomalla harhan liikkeestä, vaikka sitä ei todellisuudessa olekaan. Kuvassa 3.20 B on kuvattu lentosimulaattorin synnyttämä rotaatiovektioharha. (Gillingham et al. 1996). Vektioharhalla saattaa olla joissain tapauksissa merkitystä simulaattorisairauden synnyssä.

3.5.2 Virheellinen visuaalinen referenssi

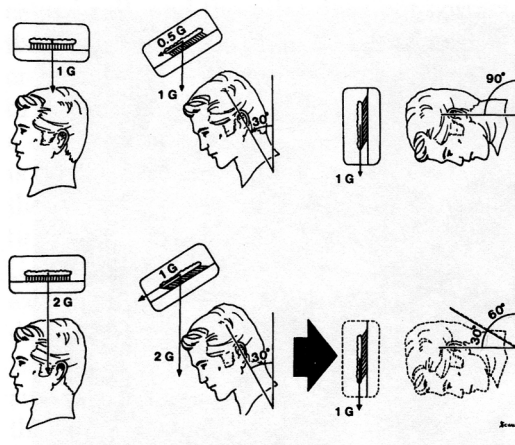
Sotilaslentäjän toimintaympäristössä visuaalisesti havaittu horisontti on usein väärässä asennossa verrattuna todelliseen horisonttiin. Virheellisen näennäisen horisontin voivat aiheuttaa mm. kalteva pilvi, maa, valolinja, sade tai välitoppi. Virheellinen harha-aistimus voi syntyä kallistus- tai pituussuunnassa. Selkeän horisontin puuttuminen voi myös aiheuttaa sotilaslentäjälle harhoja koneen hallinnassa lennettäessä visuaalilentoa. Yöllä harhoja esiintyy paljon enemmän kuin päivällä (Gillingham et al. 1996). Ailkeiskoulutuksen osalta niillä ei kuitenkaan ole merkitystä, koska siihen ei sisälly yölentoja.

Virheellinen horisontin havaitseminen voi aiheuttaa sotilaslentäjälle vaaratilanteita tai ongelmia pystysuunnan määrittelyssä. Nämä voivat johtaa joko asentotajun menetykseen ja edelleen onnettomuuteen tai lentopahoinvointiin. Huonossa säässä vihreelliset visuaaliset referenssit ovat yleisiä. Tämän takia alkeislentokoulutuksessa sään merkitystä ei voi koskaan liikaa korostaa.

3.5.3 Kiihtyvyysharhat

Pään kääntelyn kaartavassa lentokoneessa on tiedetty aiheuttavan harhoja kulmanopeuden aistimisessa (Benson 1999c). Niiden on oletettu johtuvan koriolisharhoista, jotka syntyvät kaarikäytävien fysiologisista rajoituksista. Kiihtyvyysharhat ovat kuitenkin peräisin otoliiteistä, koska ainoastaan nämä aistivat lineaarisia kiihtyvyyksiä. Toisin sanoen, terveellä ja toimintakuntoisella henkilöllä lineaariset kiihtyvyydet eivät vaikuta kaarikäytävien toimintaan. Tämä on todettu kokeissa, joissa hävittäjällä suurella nopeudella ja isolla kaartosäteellä 2 G:n lennetty kaarto aiheuttaa harhoja kulmanopeuden ollessa vain 4 astetta sekunnissa. Kaarron kulmanopeus on siis aivan liian pieni aiheuttaakseen koriolisharhan. Silti koehenkilöt ovat raportoineet virheellisiä tuntemuksia liu'usta tai noususta kääntäessään päätä vastaavasti alas tai ylös.

Nämä aistihavainnot johtuvat siitä, että tasapainoelimen otoliittejä käytetään pään absoluuttisen asennon määrittämiseen, aivot eivät pysty erottelemaan gravitaatiovoimaa inertia voimista, aivot olettavat gravito-inertiaalisen voiman olevan pystysuunnan suuntainen (kuten se yleensä maan pinnalla aina on) eivätkä aivot osaa kompensoida maanvetovoimaa suuremman gravito-inertiaalisen resultanttivoiman aiheuttamaa otoliittien lisäpoikkeamaa neutraali asennosta. Otoliittien toimintaa G-voimien alaisena on kuvattu kuvassa 3.21. Jos kuvitellaan henkilön istuessaan taivuttavan päätä 30 astetta alas normaalista pystyasennosta, gravito-inertiaali voima saa otoliitti membraanin siirtymään tietyn matkaa eteen päin (esimerkiksi $x \mu\text{m}$:iä). Jos hän tekeekin saman 2 G:n ympäristössä otoliittimembraaniin vaikuttava voima on suurempi ja membraani siirtyy eteen päin enemmän kuin 1 G:n ympäristössä (enemmän kuin $x \mu\text{m}$:iä). Otoliittimembraanin siirtymä ei nyt vastaakaan 30 asteen kallistusta vastaavaa siirtymää vaan 90 asteen kallistusta 1 G:n ympäristössä (koska $2 \cdot \sin 30^\circ = \sin 90^\circ$). Tästä voidaan päätellä, että aivot aistivat suuremman G:n alaisena pään kallistuksen todellista kallistusta suurempana. Vaikka henkilö käänsi päätä vain 30 astetta, hän aisti paljon suuremman kallistuksen, vaikka niskan asentoaistin reseptorit viestivät pään kallistuneen vain 30 astetta. Tästä syystä henkilö vertaa lisäkallistusta ympäristöönsä eli hävittäjässä oleva sotilaslentäjä aistii koneensa kallistuneen nuo ylimääräiset 60 astetta. Samalla periaatteella voidaan päätellä pään aistiman kallistuksen olevan todellista pienempi kiihtyvyysharhan ollessa normaalia pienempi (alle 1 G). Koska otoliittien aistima pään liike ei vastaa kaarikäytävien aistimaa pään kallistuksen



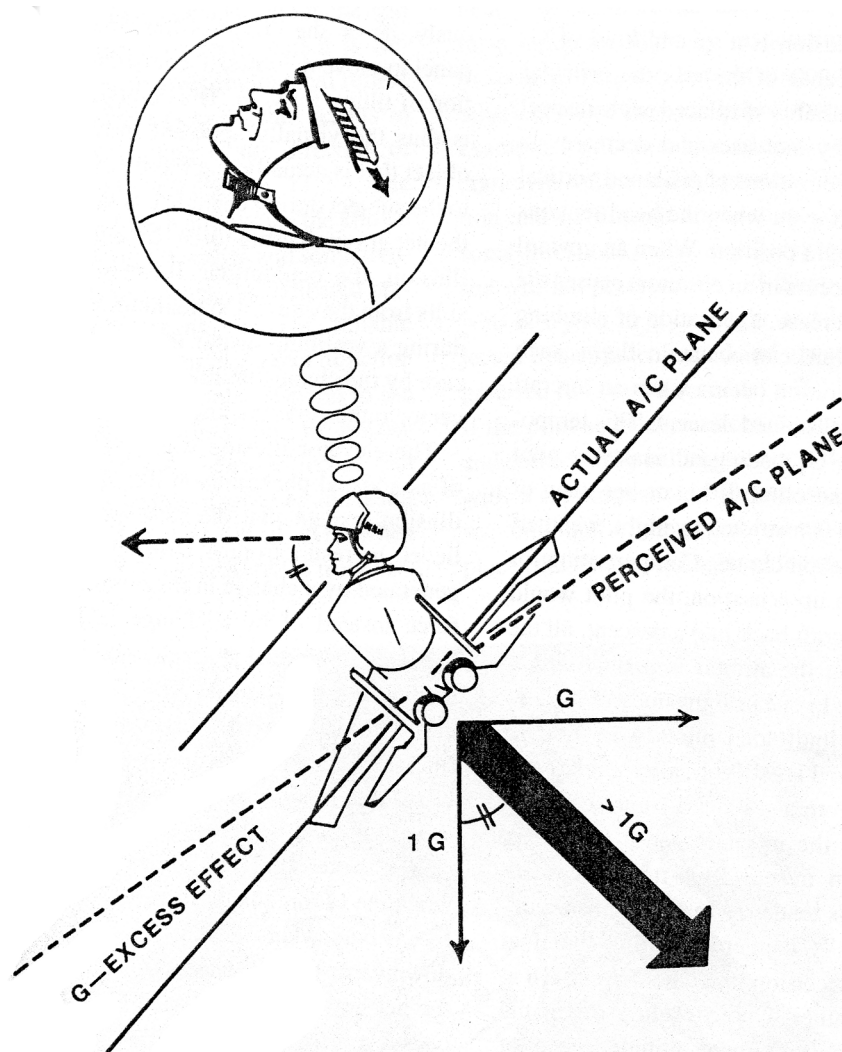
Kuva 3.21 (Gillingham et al. 1996) Otolitiittien toiminta soikeassa rakkulassa G-voimien alaisena. Kuvan yläosassa on esitetty otoliittien toiminta normaalissa 1 G:n ympäristössä. Pään ollessa kallisuneena eteen päin 30 astetta, otoliitit aistivat puolen G:n kiihtyvyyttä vastaavan voiman eteen päin. Vastaavasti kallistettaessa päätä 90 astetta otoliitteihin kohdistuu 1 G:n kiihtyvyyttä vastaava voima. Kuvan alaosassa on esitetty samojen kallistusten tapahtuminen 2 G:n ympäristössä. Tällöin pään kallistaminen 30 astetta aiheuttaa otoliiteille 1 G:n kiihtyvyyden aiheuttaman voiman suuruisen voiman. Koska aivot tulkitsevat pään kallistuksen otoliittien aistiman voiman perusteella ja 2 G:n ympäristössä 30 asteen kallistus aiheuttaa saman voiman kuin 90 asteen kallistus tavallisessa 1 G:n ympäristössä, aivot tulkitsevat virheellisesti pään kallistukseksi 90 otoliittien antaman tiedon perusteella.

suuruutta, normaalia pienempi tai suurempi kiihtyvyyksmonikerta aiheuttaa konfliktin tasapainoistille ja siten voi potentiaalisesti provosoida liikesairautta. (Gillingham et al. 1996).

Todellisuudessa tilanne ei kuitenkaan ole niin yksinkertainen, koska soikean rakkulan makula ei ensinnäkään ole vaakatasossa, vaan viettää alaspäin 20 - 30 astetta (liikuttaessa x-akselilla positiiviseen suuntaan). Toiseksi, pyöreä rakkula aistii myös pään kallistusta, mutta tapa, jolla pyöreä rakkula sen aistii, ei ole täysin tunnettu. Kolmanneksi, hyvä visuaalinen asentotajua auttava informaatio (kuten horisontin näkeminen) heikentävät tehokkaasti tasapainoelimestä lähtöisin olevia harhoja. Kokeissa on kuitenkin havaittu, että 2 G:n kiihtyvyyksmonikerta aiheuttaa noin 10 - 20 asteen virheen pään asennon havaitsemisessa. 1,5 G:n ympäristössä virheet laskevat lähelle puolta verrattuna 2 G:n ympäristöön. (Gillingham et al. 1996).

Pään asento vaikuttaa suuntaan ja voimakkuuteen, mihin kiihtyvyyksmonikerran aiheuttama harha vaikuttaa. Suurin vaikutus tällä harhalla on nimen omaan sotilaslentäjään, joka lentää usein suurien G-voimien alaisena tiukkoja kaartoja tähyistäen samalla

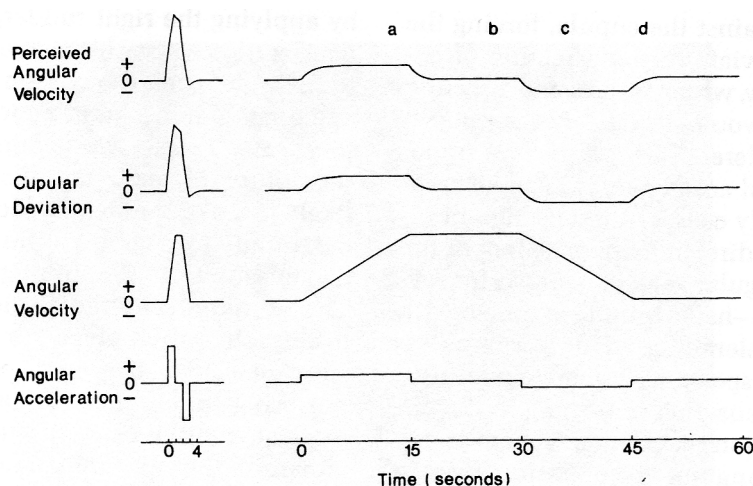
ulos koneesta maalia tai johtokonetta. Tähystettäessä pää saattaa olla hyvinkin paljon käännettynä useankin akselin suhteen. Teorian mukaan G-voimat saavat sotilaslentäjän aistimaan koneen kallistuksen todellista pienemmäksi katsoessaan kaarron sisään ja siipilinjan yläpuolelle tai kaarron ulkopuolelle ja siipilinjan alapuolelle. Tätä on demonstroitu kuvassa 3.22. Jos sotilaslentäjä taas katsoo eteen ja ylös, hänelle tulee virheellinen aistimus nokan noususta. Jos hänellä ei lisäksi ole selkeää visuaalista ympäristöä, harha-aistimukset voivat johtaa hävittäjän asennon virheelliseen korjaamiseen ja onnettomuuteen. Tätä vielä lisää G-voimien mahdollisesti aiheuttama näkökentän kapeneminen. (Gillingham et al. 1996).



Kuva 3.22 (Gillingham et al. 1996) Kiihtyvyyksmonikerran harhat kaarrossa. G-voimien aiheuttama tasapanokivien ylimääräinen siirtyminen suhteessa pääns kallistukseen aiheuttaa sotilaslentäjän aistimaan olevansa kallistuneena todellista enemmän. Jos sotilaslentäjä katsoo sisäkaartoon ja siipilinjan yläpuolelle, hän aistii koneen kallistuksen todellista pienemmäksi. Korjatakseen kallistuksen oikeaksi hän kallistaa virheellisesti liikaa, mikä vie koneen liukuun.

3.5.4 Somatogyyriset aistiharhat

Tunnetta rotaatioliikkeestä, joka on väärän suuntainen tai suuruinen kuin henkilön todellinen rotaatioliike, kutsutaan somatogyyriseksi aistiharhaksi. Mekaanisempi määritelmä somatogyyriselle harhalle on ”mikä tahansa poikkeavuus todellisen ja aistitun oman kehon kulmakiihtyvyyden välillä, joka johtuu epätavallisesta kulmakiihtyvyyssärsykkeestä (Gillingham et al. 1996). Epätavallinen ärsyke tarkoittaa tässä yhteydessä ärsykettä, jonka taajuus on alhaisempi kuin kaarikäytävät pystyvät järkevästi aistimaan. Toisin sanoen somatogyyrinen harha johtuu ihmisen aistijärjestelmän heikkoudesta aistia jatkuvia kulmanopeuksia. Kaatikäytävien aistimat kulmanopeudet kuihtuvat pois noin 30 sekunnin kuluttua kulmakiihtyvyyden pudottua nolnaan (Brandt 1991). Vain silloin, kun kulmakiihtyvyyttä seuraa välittömästi hidastuminen, kaarikäytävät aistivat kulmanopeuden oikein. Kun hidastumista ei kuitenkaan tapahdu, sisäkorvan sisä neste kaaritiehyeen sisällä pysähtyy ja tunne rotaatiosta lakkaa. Hidastuksen tullessa myöhemmin se aistitaan hidastumisen sijasta rotaationa vastakkaiseen suuntaan kuin alkuperäinen kulmakiihtyvyys. Nämä tilanteet on kuvattu kuvassa 3.23.



Kuva 3.23 (Gillingham et al. 1996) Erilaisten kulmakiihtyvyyksien ja -nopeuksien vaikutus havaittuun kulmanopeuteen. Kuvan vasemmassa laidassa on esimerkki nopeasta kiihtyvyydestä ja hidastuvuudesta. Tällaisessa stimulaatiossa kaarikäytävät havaitsevat liikkeen oikein, jolloin aistittu kulmanopeus ja todellinen kulmanopeus lähes vastaavat toisiaan. Kuvan oikealla puolella on esitetty pitempiaikainen kulmakiihtyvyys, jota seuraa ensin 15 sekunnin tasainen kulmanopeus ja pitempiaikainen hidastuvuus. Tästä seuraa todellista pienemmäksi aistittu kulmanopeus kiihtyvyyden aikana johtuen kiihtyvyyden kestosta ja vähyydestä. Toiseksi seuraa virheellinen aistimus rotaation loppumisesta cupulan palatessa lepoasentoonsa, vaikka kulmanopeus on edelleen suuri. Kolmanneksi seuraa aistimus kiihtyvyydestä ja rotaatiosta vastakkaiseen suuntaan hidastuvuuden aikana. Vielä neljänneksi seuraa tunne rotaatiosta alkuperäisen suunnan vastakkaiseen suuntaan, vaikka pyöriminen on todellisuudessa loppunut.

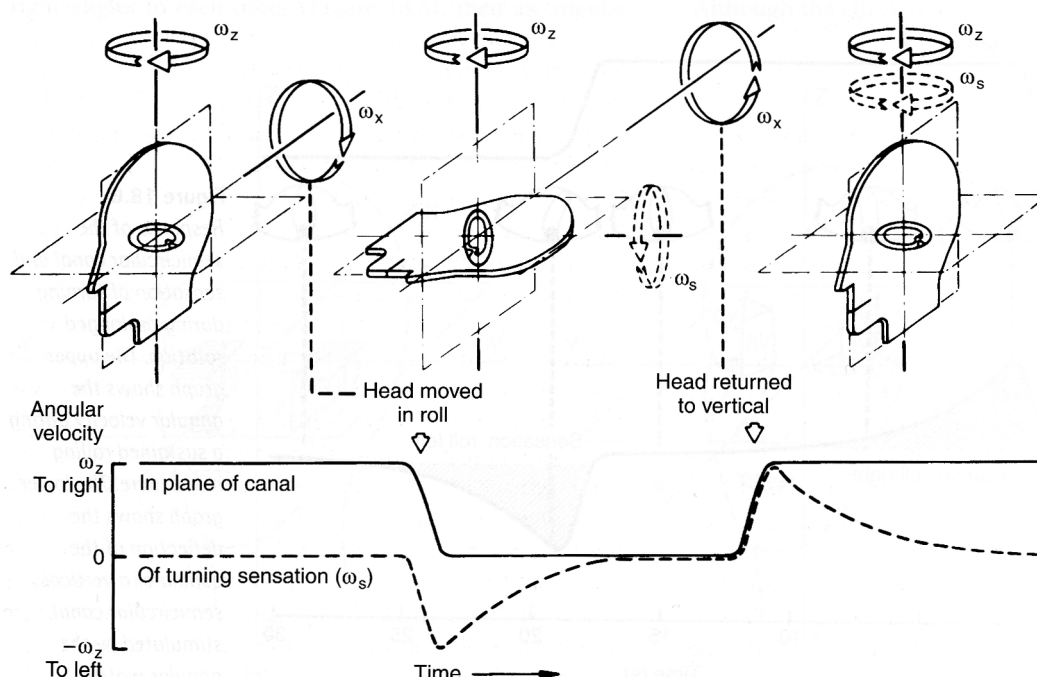
Somatogyriset harhat voivat aiheuttaa sotilaslentäjälle kaksi hengenvaarallista lento-tilaa: hautausmaakierteen ja -spiraalin. Hautausmaakierre johtuu esimerkiksi sotilaslentäjän havainnosta, että kierre on jo loppunut tai vaihtanut suuntaa, vaikkei se todellisuudessa olekaan. Tämä johtuu somatogyrisistä harhoista, jotka aiheuttavat vääriä aistimuksia rotaatiosta ja heikentävät näköaistin toimintaa (Benson 1999c).

3.5.5 Okulogyriset aistiharhat

Okulogyyrinen harha esiintyy aina ja ainoastaan somatogyyrisen harhan yhteydessä. Somatogyyrinen harha aiheuttaa henkilön yrittäessä katsoessa jotakin kohdetta virheellisen aistimuksen siitä, että katseltava kohde liikkuisi. Tätä katseltavan kohteen näennäistä liikettä kutsutaan okulogyyriseksi aistiharhaksi (Gillingham et al 1996). Esimerkiksi koehenkilön pyörii tuolissa z-akselinsa ympäri tasaisella nopeudella. Tuolin pysähtyessä hän kokee vestibulo-okulaarisen heijasteen lisäksi somatogyyrisen illuusion alkuperäisen rotaatioliikkeen vastakkaiseen suuntaan endolymfan lähtiessä virtaamaan kaaritiehyeessä. Tällöin hän kokee myös okulograavisen illuusion edessään olevista kohteista, jotka siis näyttävät pyörivän vastakkaiseen suuntaan. Useiden sekunttien kuluessa nystagmus alkaa heikentyä ja visuaalisten kohteiden fiksaatio on mahdollista, mutta nystagmus ei vielä ole täysin loppunut ja siten aiheuttaa pieniä silmän virheliikkeitä. Jos näkökentässä on runsaasti visuaalisia merkkejä, tunne rotaatiosta häviää ja samalla myös visuaaliset eli okulogyriset harhat häviävät. Kun taas esimerkiksi yöllä ainoan näkevän kohteen ollessa vain yksittäinen valo, harha-aistimukset voivat kestää useita sekunteja, jopa minuutteja. (Benson 1999c).

3.5.6 Koriolisharhat

Pään liikkeet epätavallisissa ja uusissa voimaympäristöissä, kuten lentokoneessa, aiheuttavat harha-aistimuksia sotilaslentäjälle. Suurimmat harha-aistimukset syntyvät kuitenkin pään kääntelystä lentokoneen kaartaessa. Näitä harhoja kutsutaan koriolisharhoiksi (Benson 1999c). Koriolisharhat johtuvat kaarikäytävien stimuloinnista yhdistämällä kahdessa eri tasossa tapahtuvaa rotaatioliikettä. Tämän takia se on tasapainoelimestä syntyvä harha (koska tasapainoelin on ainoa elin, joka aistii kulmakiihtyvyyksiä). Kuvassa 3.24 on kuvattu koriolisharha. Kuvasta on yksinkertaistamiseksi jätetty pois etu- ja takakaarikäytävät. Vain sivukaarikäytävässä tapahtuvat liikkeet on kuvattu. Kuvassa henkilön päätä kallistetaan 90 astetta pystyasennosta vasemmalle

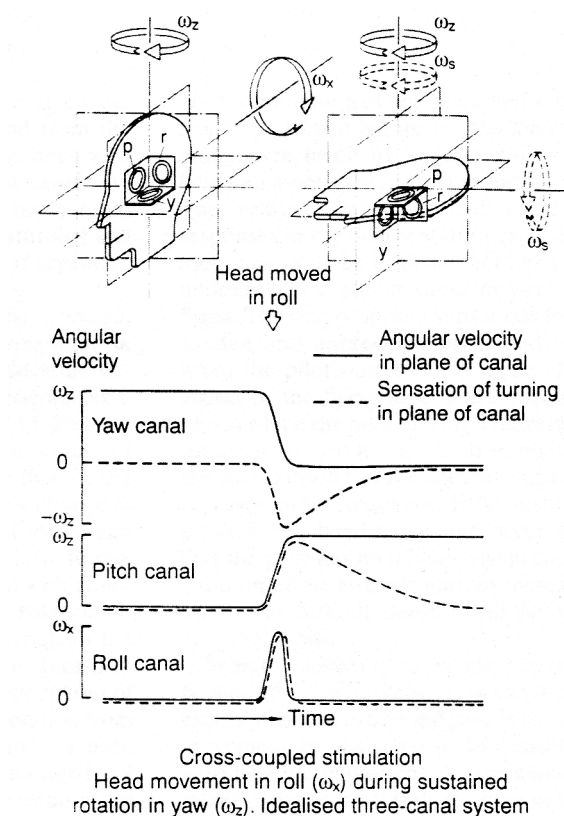


Kuva 3.24 (Benson 2006c) Koriolisharha. Koehenkilö pyörii z-akselinsa suhteen vakionopeudella. Sivukaarikäytävässä cupula on palannut lepoasentoonsa. Pään kiertoliike x-akselin suhteen (ω_x) pystyasennosta vasen korva alas asentoon aiheuttaa harha-aistimuksia x-akselia kohtisuoraan oleviin akseliin.

kyljelleen. Tällöin sivukaarikäytävä siirtyy pois pyörimistasosta. Kaarikäytävän kulmanopeus pienenee nopeudesta ω_z nollaan. Sisäkorvan sisäneste alkaa liikkua samoin kuin, jos pää olisi pysäytetty normaalisti nopeudelta ω_z . Tällöin syntyy tunne pyörimisestä vastakkaiseen suuntaan kuin alkuperäinen pyöriminen. Kaaritiehyeille ominaisten piirteiden mukaan cupula palaa jonkin ajan kuluessa takaisin lepoasentoonsa. Jos pää tämän jälkeen käännetään takaisin alkuperäiseen asentoonsa sivukaarikäytävä palaa takaisin rotaatiotasoon. Sen kulmanopeus muuttuu nolasta takaisin alkuperäiseen nopeuteen ω_z . Tämä aiheuttaa taas oikean pyörimisen tunteen oikealle, joka taas häviää kaarikäytävien ominaisuuksien takia. (Benson 1999c).

Tilanne monimutkaistuu hieman, kun mukaan otetaan kaikki kolme kaarikäytävää. Tässä esimerkissä on oletettu asioiden yksinkertaistamiseksi, että kaarikäytävät sijaitsevat pään akselien mukaisilla tasoilla. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa ole, mutta sillä ei ole väliä, koska aivot pystyvät muokkaamaan oikeiden kaarikäytävien aistiman kulmanopeuden kuvitteellisten kohtisuorien akselien mukaisiksi. Joten on mahdollista esittää kaikkien pään kuuden kaarikäytävän aistima kulmanopeus pään kolmen eli z-, y- ja x-akselin suhteen (Benson 1999c). Kuvassa 3.25 on esitetty jokaisen kuvitteelli-

sen kaarikäytävien aistima kulmanopeus, kun pää sen pyöriessä tasaisella nopeudella ω_z käännetään pystyasennosta vasemmalle kyljelleen. Pään käännön aikana x-akselin suhteen aivot aistivat tämän kulmanopeuden ω_x oikein, koska rotaatio kestää vain lyhyen hetken. Vaakatasossa olevan kaarikäytävän nopeus hidastuu nopeudesta ω_z nollaan, kuten edellisessäkin esimerkissä, mutta tämän lisäksi pään keskitasolla oleva kaarikäytävä aistii nopeuden muutoksen nolasta nopeuteen ω_z . Tämä pään rotaatio x-akselin ympäri aistitaan suhteessa päähän rotaationa z-akselin suhteen vasemmalle (pään kierto vasemmalle) sekä rotaationa y-akselin suhteen suuntaan, joka vastaa pään fleksiota ("leuka rintaan"-liike). Koska aivot aistivat myös maan vetovoiman ja sitä kautta pystysuunnan, nämä rotaatio-aistimukset tulkitaan suhteessa maahan. Tämän takia henkilö aistii pyörimisnopeuden z-akselin ympäri kasvavan ja nokan painumisen kohti maata (olettaen, että hän on lentokoneessa). Harhat poistuvat kaari- tiehyille ominaisella nopeudella. Harhojen poistumista nopeuttaa se, että tasapainokivet eivät havaitse nokan painumista, vaikka kaarikäytävät antavat tällaista signaalia. Jatkuessaan koriolisharha ei ainoastaan pyri aiheuttamaan asentoharhoja, vaan myös saa aikaan liikesairauden. (Benson 1999c).



Kuva 3.25 (Benson 1999c). Esimerkki koriolisharhoista, kun päätä käännetään sen pyöriessä z-akselin suhteen tasaisella nopeudella ω_z .

Koriolisharha ei johdu siitä, että kaaritiehyeessä virtaava sisäkorvan sisä neste virheel-
lisesti aiheuttaisi virtauksen toisessa kaaritiehyeessä niin kuin jotkin lähteet väittävät,
vaan kaarikäytävän tason vaihtumisesta suhteessa vakiintuneeseen pyörimistasoon.
Koriolisharhaa ei esiinny, ellei pyörimisliike ole ensin ehtinyt tasaantua ja kaaritiehy-
een cupula palata takaisin lepoasentoon. Eli kaikki pään kierrot ja käännöt, jotka teh-
dään rotaatioliikkeen ensimmäisinä muutamina sekunteina, aistitaan tarkasti ja oikein
- ilman koriolisharhaa. (Benson 1999c). Vaikka koriolisharhaa ei esiinny pyörimisen
alkuvaiheessa, se esiintyy myös täysin ilman pyörimistä. Tämä ns. pseudo-koriolis-
harha saadaan esiintymään henkilön kallistaessa päätä isossa optikineettisessä sy-
linterissä, joka saa aikaan tunteen oman kehon pyörimisestä (Brandt 1991). Tällaisen
ilmiön syntyminen oikeassa lentokoneessa on suhteellisen harvinaista, mutta lento-
simulaattorissa sen esiintyminen on paljon todennäköisempää. Pseudo-koriolisharha
voi jatkuessaan aiheuttaa optokineettistä liikesairautta. Tämän tapahtuessa lentosi-
mulaattorissa se luokitellaan simulaattorisairaudeksi.

Koriolisharha on eräänlainen erikoistapaus somatogyyrisesta harhasta eli toisin sa-
noen myös koriolisharha on harha, joka johtuu virheellisestä aistimuksesta, että hen-
kilö pyörii jonkin akselin suhteen. Kuten somatogyyrisiin harhoihin liittyy okulogyyrinen
harha, liittyy myös aina koriolisharhaan okulogyyrinen harha. Kuvan 3.25 mukaisessa
koriolisharhassa koehenkilö kokisi okulogyyrisen harhan, jossa katsottaessa yksit-
täistä valoa se näyttäisi liikkuvan alas ja jäävän alkuperäisen asemansa alapuolelle.
(Benson 1999c).

Suorituskykyisillä lentokoneilla lentävät lentäjät eli usein sotilaslentäjät kokevat hel-
posti koriolisharhoja mittarilennoilla kääntäessään päätä ohjaamossa vakiintuneitten
kaartojen aikana (Gillingham et al. 1996). Näitä harhoja voivat lisätä kiihtyvyyssmo-
nikertojen aiheuttamat harhat. Kiihtyvyyssmonikertojen aiheuttamat harhat esiintyvät
usein koriolisharhan yhteydessä, koska varsinkin hävittäjän kaartaessa kaartoon liittyy
suurien kulmanopeuksien lisäksi myös suuria G-voimia. On harvinaista, ettei lentoko-
neessa esiintyisi kulmanopeuksien yhteydessä myös muutosta G-voimissa (Benson
1999c). Jos harhat esiintyvät juuri sotilaslentäjän keskittyessä muuhun asiaan kuin
keinohorisonttiin, hän saattaa helposti korjata koneen asentoa virheellisen aistimuk-
sensa mukaan. Pääkeino, jolla sotilaslentäjä voi vähentää koriolisharhan esiintymistä,
on minimoimalla pään liikkeitä pitkäaikaisen kaartojen aikana varsinkin alkeiskoulu-
tuksen aikana LentoRuk:lla. Myöhemmässä hävittäjälentokoulutusvaiheessa tämä ei

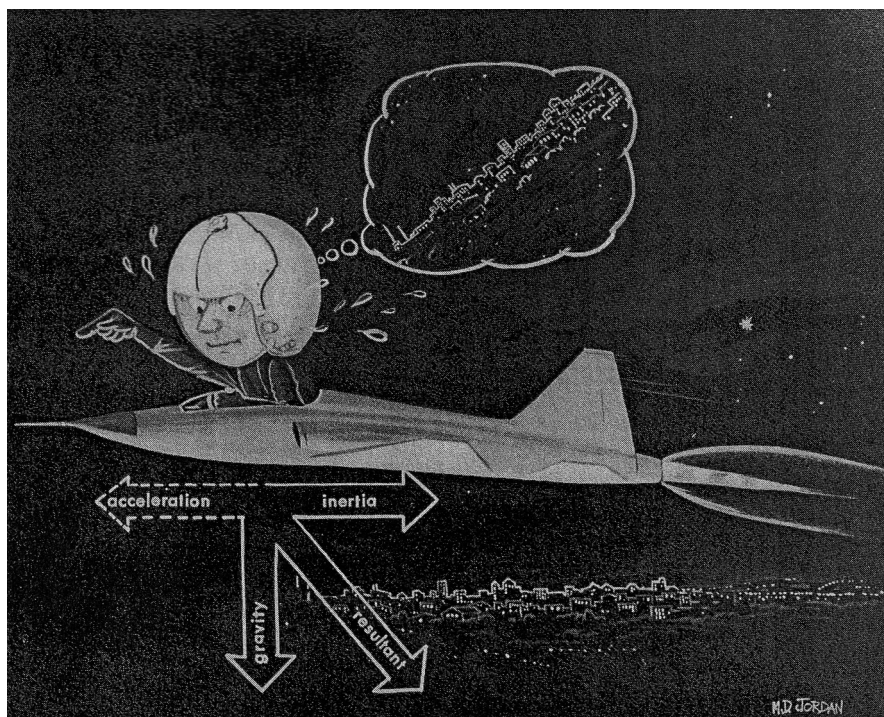
enää ole mahdollista, mutta aivot ovat jo paremmin oppineet odottamaan kaikkia eri lentotiloissa syntyviä harhoja. Ne eivät ole niin voimakkaasti asentotajua häiritseviä ja vielä tärkeämmin eivät niin voimakkaasti aiheuta pahoinvointia.

Koriolisharhalla pystytään saamaan äärimmäisen voimakkaita harha-aistimuksia, jotka sekoittavat sotilaslentäjän täysin. Tällaiset demonstraatiot ovat hyviä, jotta sotilaslentäjä ymmärtää olla luottamatta omiin virheelisiin aistimuksiin, joita esiintyy erityisesti mittarilennon aikana (Gillingham et al. 1996).

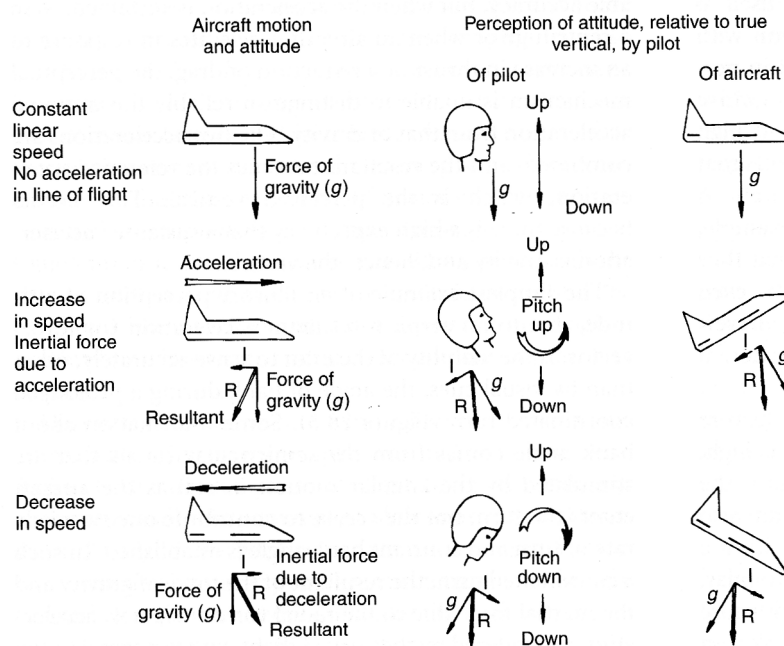
3.5.7 Somatograaviset aistiharhat

Somatograavisiksi aistiharhoiksi nimitetään aistiharhoja, joissa lentäjä aistii asentonsa suhteessa maahan väärin, koska otoliitteihin vaikuttava gravito inertiaalinen voimavektori on eri suuntainen ja/tai suuruinen kuin maan vetovoimavektori (Benson 1999c). Somatograaviset harhat ovat siis lähtöisin tasapainoelimen lineaarisia kiihtyvyyksiä aistivista soikeasta ja pyöreästä rakkulasta. Eron gravito inertiaalisen ja maan vetovoimavektorin välillä voi hävittäjässä aiheuttaa esimerkiksi kiihdytys, lentojarrun käyttö tai vakiintunut tavallinen kaarto. Tavallisessa kaarrossa sotilaslentäjään vaikuttavat maan vetovoima alaspäin ja sentrifugaalivoima ulkokaarron puolelle. Sotilaslentäjän tasapainoelimet aistivat näiden voimien summan, gravito inertiaalisen resultantti voiman. Kaarrossa lentokonetta kallistetaan siten että tämä gravito inertiaalinen voima on aina sotilaslentäjän z-akselin suuntainen, tämä aiheuttaa helposti virheellisen aistimuksen, että kone lentäisi suoraan varsinkin, jos sotilaslentäjä ei tarkasta oikeaa asentoa mitareista. Samoin lentokoneen kiihdyttäessä aistitaan kiihdytyksen ja maan vetovoiman resultanttivoima eli gravito inertiaalinen voima. Kiihdytyksen ansiosta gravito inertiaalinen voima on nyt kallistunut taaksepäin suhteessa maan vetovoimaan, sotilaslentäjä tulkitsee tällöin helposti nokan olevan virheellisesti nousseen (kuva 3.26). Vastaavasti hidastettaessa hän voi aistia nokan laskeneen. Nämä ilmiöt on kuvattu yksinkertaistetussa kuvassa 3.27. Laboratorio kokeissa on todettu gravito inertiaalisen voiman olevan lähes saman suuntainen kuin henkilön aistima pystysuora. Tässä on kuitenkin suuria henkilökohtaisia vaihteluita ja harhojen syntymiseen kuluvat ajat vaihtelevat yksilöiden välillä. (Benson 1999c).

Sotilaslentäjät, jotka lentävät nopeilla ja tehokkailla koneilla, ovat potentiaalisin ryhmä lentäjistä kokemaan somatograavisia illuusioita (Benson 1999c). Sotilaslentäjän

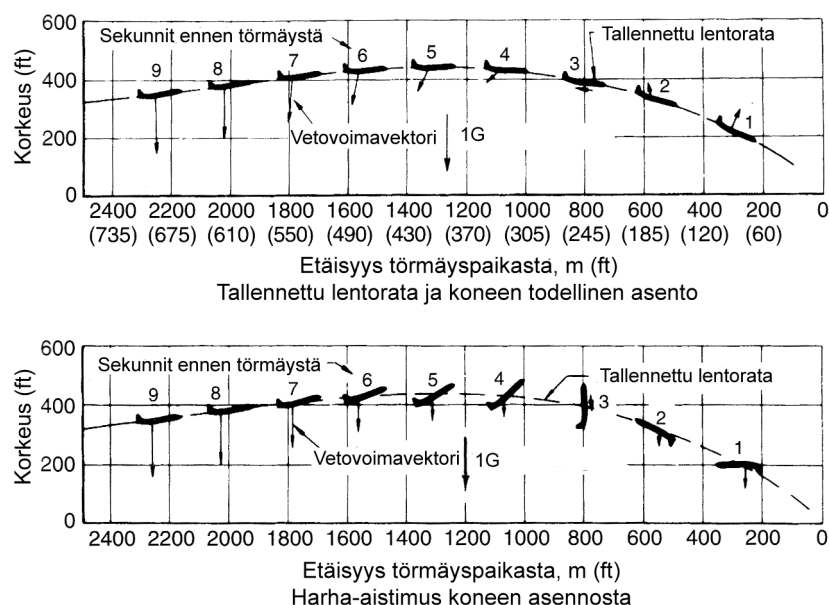


Kuva 3.26 (Gillingham et al. 1996) Somatograavinen harha lentoonlähdössä. Ohjaaja aistii nokan olevan todellista korkeammalla taakse taipuneen gravitoinertiaalisen resultantti voiman ansiosta.



Kuva 3.27 (Benson 1999c) Somatograaviset illuusioid, jotka aiheuttavat nokan asennon virheellisen aistimisen lineaarisen kiihtyvyyden takia.

suorittaessa lentoonlähtö hävittäjällä mittariolosuhteissa hänellä ei ole juurikaan visuaalisia merkkejä, jotka helpottaisivat asentotajun säilyttämistä. Välittömästi lentoonlähdön jälkeen hän valitsee telineen ja siivekkeen sisään, jolloin lentokoneen vastus pienenee. Jos hävittäjä säilyttää nokan asennon vastuksen pienentyessä, koneen kiihtyvyys kasvaa, mikä aiheuttaa gravitoinertiaalisen voiman taipumista lisää taakse ja sotilaslentäjälle tunteen nokan nousemisesta. Jos hän yrittää korjata tätä virheelistä aistimusta laskemalla nokkaa eli työntämällä, se vain aiheuttaa tunteen nokan nousemisesta enemmän, koska sentrifugaalivoima pienentää vetovoiman suuruutta ja vetovoima vektori kääntyy suhteessa lentäjään eteen päin, mikä taas lisää koneen kiihtyvyyttä. Kuvassa 3.28 on kuvattu työnnön vaikutusta lentäjän aistimuksiin lentoonlähdön jälkeen. Pahimmillaan tästä voi seurata ns. inversioharha, jossa lentäjä luulee olevansa ylösalaisin. (Gillingham et al. 1996).



Kuva 3.28 (Benson et al. 2006a) Ylösvedon jälkeen maahan törmänneen lentokoneen tallennettu lentorata ja siitä laskettu gravitoinertiaalinen vektori. Alkuperäisen ärsykkeen lentäjälle on aiheuttanut lentokoneen kiihtyvyys, mutta sitä on edelleen vahvistanut voimakkaasti työnnön aiheuttaman kaarevan lentoradan sentrifugaalivoima. Tapahtumien lyhytaikaisuuden vuoksi on todennäköistä, että lentäjä ei ole kärsinyt yhtä suuresta harhasta kuin kuvan alemmassa osassa on kuvattu, mutta vastaavanlaisesta liikkeestä selvinnet lentäjät ovat kuvailleet kuvan mukaisia aistimuksia.

4 LIIKESAIRAUS

4.1 Yleistä liikesairaudesta

Liikesairautta on esiintynyt siitä lähtien, kun ihmiset ovat keksineet liikkumisvälineitä, mutta vielä kolmannellakaan vuosituhannella tuota ilmiötä ei täysin tunneta. Pahoinvointi on täysin luonnollinen ja normaali reaktio terveillä ihmisillä. Enemmänkin sen puute kertoo viasta tai epänormaalista toiminnasta tasapainojärjestelmässä. Liikesairautta ilmenee jokaisella, jolla on toimiva tasapainoelin, jos ärsyke on vain tarpeeksi pitkä ja voimakas. Liikesairaus jaetaan aistiärsytyksen aiheuttajan mukaan eri alalajeihin: lentopahoinvointi, merisairaus, matkapahoinvointi, simulaattorisairaus, elokuvastairaus ja avaruussairaus. Maailmalla lentopahoinvointitutkimukset kohdistetaan yleensä johonkin muuhun koneessa olevaan kuin sotilaslentäjään, esim. navigaattoriin, matkustajaan tai erikoisjoukkojen sotilaaseen. He voivat paljon herkemmin pahoin kuin sotilaslentäjät, jotka lentävät useammin ja yleensä tottuvat lentokoneen liikeympäristöön. Suomen Ilmavoimavoimien suorittamissa tehtävissä sotilaslentäjät ovat kuitenkin ainoa ryhmä, jolle liikesairaudesta on haittaa. Suurin syy tähän on se, ettei Ilmavoimien lennoilla juurikaan ole navigaattoreita tai muuta miehistöä eikä myöskään erikoisjoukkoja. Tässä tutkimuksessa keskitytään lähinnä lentokoulutuksen alkuvaiheessa sotilaslentäjillä esiintyvään lentopahoinvointiin, koska se on ainoa Suomen Ilmavoimia kiinnostava näkökulma.

Epätavallisten liikkeiden ärsyttäessä silmiä, tasapainoelintä ja ihmisen tuntoreseptoreita ihmiselle kehittyy liikesairaus (Benson 1999a). Liikesairaus aiheuttaa huonoa oloa, josta ulkoisina merkkeinä esiintyy hikoilua, kalpeutta ja lopuksi oksentelua. Muina merkkeinä esiintyy myös lisääntynyttä syljen erityystä, päänsärkyä, sekavaa oloa, nieleskelyä, vähentynyttä ruokahalua, ”kiertoa vatsassa”, röyhtäilyä, ilmavaivoja ja lämmön tunnetta. Oksentaminen parantaa hetkellisesti oloa. Vaikka olo hetkellisesti paranee, alkaa se hetken kuluttua voimakkaasti heiketä, jos ärsykettä ei poisteta. Oksentelun jatkuessa neste ja elektrolyytti tasapaino järkkyy ja syökee henkilön todella huonoon kuntoon ellei pahoinvointia hoideta. (Gillingham et al. 1996). Väsymys ja uneliaisuus säilyvät vielä useita tunteja provosoivan liikkeen loppumisen jälkeen (Shupak et al. 1990a Shupakin 2006 mukaan). Voimakkaiden jälkioireiden syntyminen Ilmavoimien lentokoulutuksessa on kuitenkin lentojen keston takia vähäistä.

Voimakkaat oireet liittyvät yleensä lähinnä merisairauteen, jossa liike voi jatkua useita päiviä eikä siltä voi välttyä.

Liikesairaus on harvinaista alle 2 vuotijaille, jonka jälkeen sen todennäköisyys alkaa nousta. Todennäköisimmin liikesairaudesta kärsivät 3:sta 12:sta vuotiaat. 12 ikävuo-
den jälkeen liikesairauden todennäköisyys alkaa laskea vanhetessa (Reason et al. 1975 Shupakin 2006 mukaan). Naiset ovat miehiä herkempiä liikesairaudelle (Lawther et al. 1988a Shupakin 2006 mukaan). Ero naisten ja miesten välillä ei näyttäisi juuri-
kaan vaihtelevan iän myötä (Dobie 2001). Tämä ero suurenee kuukautiskierron aika-
na (Grunfeld et al. 1998 Shupakin 2006 mukaan). Lisäksi hyvän aerobisen kunnon on
havaittu kasvattavan herkkyyttä saada oireita (Cheung et al. 1990 Shupakin 2006 mu-
kaan). Henkilökohtaiset ominaisuudet kuten esimerkiksi tunteellinen epävakaus kor-
reloi positiivisesti liikesairauden esiintymistodennäköisyyden kanssa. Lisäksi jännitys,
turvattomuus, pelko ja aikaisemmat kokemukset vaikuttavat samalla tavalla. Vahvat
aikaisemmat kokemukset voivat myös joissain tapauksissa kehittää ehdollisen reflek-
sin. Liikesairauden esiintymisen kanssa korreloi myös syöminen juuri ennen lentoa ja
pitkä tauko ruokailussa ennen lentoa (Uggeldahl 2006). Niin kuumuus kuin kylmyys-
kin koneessa ovat altistavia tekijöitä. Sitä vastoin kiire ohjaamossa yleensä vähentää
pahoinvointia, koska ohjaaja on keskittynyt tehtäviinsä eikä ehdi seurata kaikkia aisti-
muksia. (Gillingham et al. 1996).

4.1.1 Lentopahoinvointi

Lentopahoinvointi on liikesairautta, joka aiheutuu lentokoneessa olijolle sen liikku-
essa. Mekanismi, jolla pahoinvointi aiheutuu on samanlainen kuin missä tahansa
liikesairaudessa. Ainoana erona on lentopahoinvoinnilla ja liikesairaudesta on se, että
lentopahoinvoinnissa oireet aiheuttaa lentokoneen liike. Tämä myös poistaa joitakin
liikkeitä, koska niitä ei voida suorittaa lentokoneella. Pahoinvoinnista kärsiviä on kai-
kissa eri lentävissä ryhmissä: lentäjissä, miehistössä ja matkustajissa. Vähiten lento-
pahoinvoinnista kärsivät kuitenkin sotilaslentäjät itse. (Gillingham et al. 1996). Tässä
tutkielmassa keskitytään vain sotilaslentäjiin. Yleisimpiä pahoinvointitapaukset ovat
lentokoulutuksen alkuvaiheessa, jolloin noin 15 – 18 % oppilaista kärsii pahoinvoin-
nista niin voimakkaasti, että se vaikuttaa lentämiseen. Kuitenkin keskimäärin vain 1
– 2 %:lta oppilaita keskeytetään lentopalvelus pahoinvoinnin takia. Lentopahoinvointia

esiintyy yleisimmin ensimmäisillä lennoilla, syöksykierrekoulutuksessa ja taitolento-koulutuksen alkuvaiheessa. (Gillingham et al. 1996)

Lento-oppilaalle lentopahoinvointi on yleensä paljon kriittisempää kuin koulutetuille lentäjille. Suurin osa pahoinvoivista lentäjistä onkin nimenomaan oppilaita. Koululennolla oppilaan koulutus kärsii eikä hän voi ohjata konetta, jos hän voi pahoin. Tämä voi vaatia lennonopettajaa keskeyttämään lennon tai muuttamaan alkuperäistä lentotehtävää. Mikäli näin käy voi lento-oppilaalle jäädä trauma ja aiheutua noloistusta, jos opettaja ei ole kykenevä selittämään asiaa oppilaalle eikä hänellä ole muuten oikeaa tietoa aiheesta. Pahoinvoinnin jatkuessa oppilas voi ahdistua ja luulla pahoinvoinnin olevan hänen omaa heikkouttaan. (Benson 1999a)

Koulutettujen ohjaajien keskuudessa ei juuri koskaan esiinny lentopahoinvointia. Lentäminen on heille ympäristönä niin tuttu, että he ovat tottuneet siihen. Pitempi lentotauko saattaa aiheuttaa kuitenkin joillekin lentäjille pahaa oloa, jos he ovat vain matkustajia voimakkaasti ärsyttävällä lennolla, kuten taitolennolla tai taistelulennolla tehokkaalla suihkukoneella. Näistä oireista päästään yleensä eroon sillä, että oireista kärsivän sotilaslentäjä annetaan hetken itse ohjata. (Gillingham et al. 1996)

Nykyiseen käsitykseen lentopahoinvoinnin syistä ja syntymisestä ovat vaikuttaneet monet erilliset tutkimukset. Niiden tuloksena pahoinvointia aiheuttaneet syyt ovat muuttuneet tutkimusten mukana ja tiedon lisääntyessä. Nykyisten tutkimusten perusteella lentopahoinvointi ei aiheudu vain ihmiseen kohdistuvista lineaari- ja kulmakihihtyvyyksistä, koska esimerkiksi esiintyy simulaattorisairautta, jossa simulaattori ei liiku ja stimuloidaan ainoastaan silmiä. Lisäksi henkilöiden tottuessa liikkeeseen he saattavat alkaa voida pahoin liikkeen loputtua, ja vain tietynlainen ärsytys tasapainoelimelle aiheuttaa pahoinvoinnin. Liian nopea tai hidas heiluttaminen ei aiheuta pahoinvointia (Benson 1999a).

4.1.2 Simulaattorisairaus

Ensimmäiset simulaattorisairaudesta tulleet havainnot ovat tulleet helikopterisimulaattoreista. Sen oireet ovat samanlaiset kuin muussakin pahoinvoinnissa, mutta niiden lisäksi sotilaslentäjät ovat raportoineet silmien väsymistä, sumentunutta näköä, tarkennusvaikeuksia, päänsärkyä ja keskittymisvaikeuksia. Voimakkaan pahoinvoinnin ja

oksentelun esiintyminen on kuitenkin hyvin harvinaista. Simulaatio on myös aina helppo ja nopea keskeyttää, jos tilanne niin vaatii. Yleensä oireita aiheuttavat etenkin simulaattorit, joissa on laaja näkökenttä. Sillä liikutetaanko simulaattoria vai ei, ei ole suurta merkitystä. Oireet kehittyvät yleensä helpommin kokeneemmille kuin kokemattomille lentäjille, koska kokenut sotilaslentäjä odottaa sauvaa liikuttaessaan tiettyä ärsytystä tasapainoelimissään (Gillingham et al. 1996). Simulaattorissa opettaja alkaakin usein voida pahoin oppilasta helpommin! Oireet kestävät yleensä maksimissaan 12 tuntia. Useissa lentoyhtiöissä on oikealla koneella lentämistä rajoittavia säästöjä simulaattorilentoihin liittyen. Esimerkiksi samana päivänä ei saa lentää simulaattorilla ja oikealla koneella (Benson 1999a). Ilmavoimissa ei ole rajoituksia lentämiselle oikealla koneella simulaattorilennon jälkeen. Henkilökohtaisia kokemuksia kirjoittajalla on Lufthansan simulaattorista Saksasta, jossa tunnin lento simulaattorissa aiheutti sekavaa oloa ja lievää huimausta.

4.2 Etiologia ja patogeneesi

Lähes kaikki tieto liikesairautta aiheuttavasta liikkeestä on kerätty laboratorioissa erilaisilla liikesairaussimulaattoreilla. Kaikilla liikesairautta aiheuttaville liikesarjoille on yhteistä se, että ne sisältävät päähän kohdistuvia toistuvia lineaari- ja kulmakiiktyvyyksiä. Merisairauden etiologiassa pääsyyinä ovat toistuvat pystysuuntaiset lineaarikiihtyvyydet eli ylösalasheilunta. Tässä heilunnassa ilmenee liikesairaustapauksia eniten taajuudella 0,2 hertsiä (O'Hanlon et al. 1974 Shupakin mukaan 2006). Bos (1998) päätyi samanlaisiin arvoihin oman subjectiivivertikaaliteorian (subjective vertical) kehityksessä. (Shupak 2006). Bossin (1998) mukaan tämä johtuu niin sanotun alipäästösuotimen (low pass filter) toiminnasta vestibulaarimakkeessa.

Laboratorio- ja kenttäkokeiden perusteella on havaittu, että rotaatioheilahtelu y- tai x-akselin suhteen ei yksin aiheuta liikesairautta (Lawther et al. 1988b ja McCauley et al. 1976 Shupakin 2006 mukaan). Golding (2005) esittää, että 0,2 hertsiä on "havainnollisen epävarmuuden" aluetta ("perceptual uncertainty": Goldingin oma termi). Tämän taajuuden alapuolella otoliitit aistivat kiihtyvyyden pään kallistukseksi ja yläpuolella vaakatasossa tapahtuvaksi liikkeeksi. Hänen mukaan tutkijoiden keskuudessa vallitsee yksimielisyys siitä, että 0,1 - 0,3 hertsiä on voimakkain liiketaajuus aiheuttamaan pahoinvointia liikkeille, jotka ovat lineaarista heilahtelua vaakatasossa tai z-akselin suuntaan tai pään kallistelua.

Toimiva tasapainoelin on välttämättömyys liikesairauden esiintymiselle (Shupak 2006), mutta silti visuaalisella stimulaatiolla voidaan aiheuttaa ns. optokineettinen liikesairaus (Brandt 1991). Optokineettistä liikesairautta ei synny vaan koehenkilö saa vain lieviä oireita, jos molemmat tasapainoelimet ovat poistettu (Johnson et al. 1999). Näköaisti ei ole välttämätön liikesairauden synnyssä, koska myös sokeat ihmiset kärsivät liikesairaudesta (Graybiel 1970 Shupakin mukaan 2006).

Jatkuva altistus liikesairautta aiheuttavalle liikesarjalle johtaa oireiden ja sitä kautta liikesairauden vähenemiseen ja jopa täydelliseen katoamiseen. Suurimmalle osalle henkilöistä tämä tapahtuu 2 - 3:ssa päivässä provosoivien liikkeiden jatkuessa. Tottuminen uuteen epänormaaliin liikkeeseen on opittu prosessi ja säilyy ihmisen muistissa. (Shupak 2006). Tottuminen optokineettiseen liikesairauteen säilyi täysin 1 kuukauden ajan ja osittain vuoden ajan (Hu et al. 1999). Koetulokset ovat osoittaneet, että altistuksen ollessa lyhytaikaista kyseiselle altistukselle opittu tottuminen tapahtuu vain hyvin tarkasti tuolle kyseiselle altistukselle (Kramer et al. 1998 Shupakin 2006 mukaan). Jos taas altistus kestää pidempään, adaptaatiota tapahtuu myös yleisemmällä tasolla muillekin liikesarjoille (Graybiel et al 1978 Shupakin mukaan 2006).

Tällä hetkellä yleisimmin hyväksytty teoria liikesairauden synnystä on niin sanottu sensorisen konfliktin teoria ("neural mismatch theory" tai "sensory conflict") (Reason et al. 1975 ja 1978 sekä Oman 1990). Tämän teorian mukaan liikesairauden oletetaan aiheutuvan ristiriitaisista aistihavainoista niissä aistijärjestelmissä, joiden tehtävänä on päätellä yksilön liike suhteessa ympäristöön. Konflikti voi olla silmän ja tasapainoelimen tai kaaritiehyeiden ja otoliittien antaman informaation välillä verrattuna siihen, mitä ihminen on aikaisemman elämänsä aikana oppinut odottamaan kussakin liiketilanteessa (Benson 1999a). Konfliktia seuraa aistijärjestelmän tottuminen, missä yksilö sopeutuu kyseiseen liikkeeseen ja uuteen liikeympäristöön (Howard 1997 ja Reason 1978 Shupakin 2006 mukaan). Oman (1982) julkaisi matemaattiset perusteet tälle teorialle (Bles et al. 2000). Sensorinen konflikti ei ole kuitenkaan ainoa hypoteesi liikesairauden patogeneesistä, vaan esimerkiksi Bos ja Bles ovat kehittäneet oman subjektiivivertikaaliteorian ("subjective vertical theory").

Liikesairaudesta aiheutuva oksentaminen merkitsee ruuan ja muiden tärkeiden nesteiden menetystä. Tästä on selkeää haittaa yksilölle. Treisman (1977) esitti hypoteesin, että tasapainoelimellä on rooli myrkkujen tunnistuksessa. Tosin liikkeestä aiheutuva oksentaminen on vain virhetoiminta myrkkujen tunnistuksessa. Henkilön nauttiessa

myrkkyä, kuten esimerkiksi alkoholia, se vaikuttaa tasapainoelimen ja hermoston toimintaan. Yksi ilmiö, minkä alkoholi saa aikaan, on PAN (Positional Alcohol Nystagmus) eli alkoholiasentohuimaus (Brandt 1991). Näin myrkky muuttaa hyvin tarkasti säädeltyä tasapainojärjestelmää, joka on liikkumisen ja pystyssä pysymisen kannalta erittäin tärkeä. Aivojen havaitessa tällaista poikkeavuutta hermoimpulsseissa se tulkitsee poikkeavuuden myrkyn aiheuttamaksi. Eliön säilymisen kannalta on silloin tärkeää saada myrkky ulos elimistöstä. Tämä johtaa oksennusrefleksiin ja olo paranee myrkyn poistuttua. Treismanin teoria on myös osoittanut, että poistettaessa tasapainoelin eläimet eivät enää tunnista joitakin luonnollisesti esiintyviä myrkkyjä. Eivätkä tällaiset eläimet myöskään kärsi liikesairaudesta lainkaan. (Gillingham et al. 1996). Benson ei kuitenkaan tunne tällaista hypoteesia, vaikka artikkeli on julkaistu vuonna 1999. Benson väittää artikkelissaan, että syytä oksentamiseen ei vielä tiedetä. On outoa, että liikesairaus kehittää sellaiset oireet kuin se kehittää. Myös se, että koko liikesairaus on edes olemassa, on hänen mukaansa outoa. (Benson 1999a).

Von Baumgarten (1979) on esittänyt, että liikesairaus aiheutuu asymmetriasta vasemman ja oikean tasapainoelimen otoliittien välillä (Shupak 2006). Tämä asymmetria johtuu otoliittien erisuuruudesta massasta eri tasapainoelimissä. Vaikka aivot olisivat oppineet kuinka hyvin kompensoimaan tämän painoeron tavallisessa 1 G:n ympäristössä, saattaa johtaa virheelliseen aistimukseen G:n ollessa alle tai yli yhden (von Baumgarten 1979). Tätä hypoteesiä tukee se havainto, että niiden henkilöiden, joilla on suuri ero silmien kiertorefleksissä ("ocular counter rolling") kallistettaessa vasempaan verrattuna kallistettaessa oikealle, on havaittu olevan huomattavasti herkempiä kuin terveet kärsimään liikesairaudesta, kun heitä altistetaan erilaisille gravitoinertiaalisille voimille (Lackner et al. 1987 ja Diamond et al. 1992 Shupakin mukaan 2006). Lisäksi merkittäviä painoeroja eri korvien otoliittien välillä löydettiin kaloista, joiden uinti muuttui koordinoimattomaksi altistettaessa koriolis voimille, verrattuna niihin kaloihin, jotka pystyivät kompensoimaan uintiaan samoissa olosuhteissa (Helling et al. 2003 Shupakin mukaan 2006).

Ebenholtzin (1994) mukaan estämällä signaalien tulo silmän ulkopuolisista lihaksista muuten toimivaan vestibulo-okulaariseen systeemiin estää liikesairauden merkit ja oireet tavallisesti provokatiivisessa ympäristössä. Gupta (2004) on edelleen laajentanut tätä teoriaa ja selvittänyt linkin liikesairauden ja migreenin välillä. Bos (1998) ja Bles (1998) tukevat taas omaa subjektiivivertikaaliteoriaansa, jonka mukaan liikesairautta

aiheuttaa kaikkien aistien avulla aistitun pystysuunnan ("sensed vertical") vektoriero suhteessa kokemusten perusteella aivojen laskemaan niin sanotun subjektiiviseen pystysuuntaan ("subjective vertical").

4.2.1 "Sensory mismatch"-hypoteesi

"Sensoriristiriita"-hypoteesista on lähteissäni hieman eriävää tietoa. Ensinnäkin sensoriristiriitaa väitetään monessa lähteessä teoriaksi (esimerkiksi Shupak 2006). Benson (1999a) kuitenkin toteaa, että se on silti oikeasti hypoteesi, vaikka sitä väitetään teoriaksi. Gillingham et al.(1996) väittää, että tällainen hypoteesi olisi alun perin Claremontin ehdottama jo vuonna 1931. Bensonin (1999a) mukaan näitä kaikkia havaintoja tukeva hypoteesi on Reasonin (Reason et al. 1975) julkaisema. Lisäksi Shupakin (2006) mukaan hypoteesi on Reasonin julkaisema vasta vuonna 1978. Reasonin (1975 ja 1978) hypoteesi on ns. aistiristiriita hypoteesi (sensory conflict tai neural mismatch hypothesis). Hypoteesin mukaan pahoinvointia ei aiheuta pelkästään silmiltä, tasapainoelimiltä ja istuinpaikka-aistilta tulevien signaalien ristiriita, vaan myös ristiriita suhteessa siihen, mitä viestejä aivot odottavat saavansa näiltä reseptoreilta. Henkilön osatessa ennakoida orientoivien merkkien liikkeitä hän on lähes immuuni pahoinvoinnille. Siksi on äärimmäisen harvinaista, että ihminen tulisi pahoinvoivaksi, kun hän hyppii, tanssii tai rullalautaillee. Jos ihminen altistettaisiin samanlaiselle liikkeelle passiivisesti, suurin osa saisi todennäköisesti oireita. (Gillingham et al. 1996 ja Benson 1999a).

Aikaisemmat kokemukset määräävät sen tulkitsevatko aivot kyseisen liikkeen konfliktiksi vai eivät. Konfliktin esiintyessä hermojärjestelmässä aivoissa tapahtuu kaksi asiaa. Ensiksikin aivot päivittävät omaa sisäistä malliaan, jotta se vastaisi tarkasti uudenlaista liikettä eikä konfliktia syntyisi. Tästä on selvää hyötyä yksilölle, koska tarkasti säädetty tasapainojärjestelmä toimii paremmin ja tehokkaammin eikä tällöin liikuttaessa tehdä virheliikkeitä. Toiseksi se ärsyttää järjestelmää, joka saa aikaan pahoinvoinnin. Järjestelmää voidaan verrata vuotavaan ämpäriin. Aivoissa olevien signaalien poikkeavuuden määrää voidaan verrata ämpäriin laskettavan veden virtausnopeuteen. Ämpärissä on myös reikä, josta vesi pääsee vuotamaan pois. Henkilökohtaiset ominaisuudet määrittävät ämpärin ja pohjareian koon. Ämpärin täyttyessä pahoinvoinnin oireet alkavat esiintyä. Aistiristiriidan esiintyessä ämpäri alkaa täyttyä. Liikkeen jatkuessa samanlaisena alkaa täyttyminen hidastua sopeutumisen myötä. Jos jatkuvasti

provokatiivisen liikkeen annetaan jatkua ilman taukoa, ämpäri täyttyy nopeammin kuin tyhjentyy. Jossain vaiheessa se vuotaa yli ja henkilö kärsii pahoinvoinnista sen koko laajuudessa. (Benson 1999a). (Gillingham et al. 1996)

Aktiivisesti liikuttaessa aivot tietävät odottaa tietynlaista signaalia, koska yksilö itse liikuttaa itseään. Kun liike tapahtuu passiivisesti, aivot joutuvat päättämään liikkeen jonkun reseptorin mukaan ja odottaa toisilta sensoreilta kyseiseen liikkeen mukaista signaalia. Pahoinvoinnin aiheutumisessa silmistä sekä tasapainoelimen kaarikäytäviltä ja tasapainokiviltä tulevat signaalit ovat kaikkein tärkeimpiä. Liikesairaus jaetaan tulevien signaalien konfliktin mukaan kahteen eri tyyppiin. Pahoinvointi voi olla silmien ja tasapainoelimen välisen informaation ristiriita tai tasapainoelimen sisäinen eli kaarikäytävien ja tasapainokivien välinen ristiriita. Lihasten, jänteiden ja ihon reseptorit toki myös aiheuttavat signaaleja, mutta niiden toiminta on hyvin samanlainen kuin tasapainokivien, joten niitä ei ole käsitelty erillaisena pahoinvointityyppinä. Nämä kaksi tapausta jaetaan tyypeihin seuraavien tilanteiden mukaan:

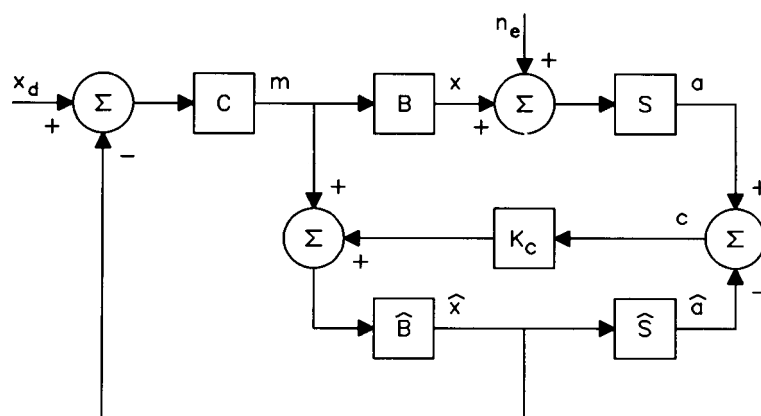
- 1. tyyppi, silmät ja tasapainoelin antavat toisilleen vastakkaisia signaaleja.
- 2. tyyppi, toiselta elimeltä puuttuu signaali, vaikka toinen antaa oikean signaalin.

Tyyppi 2 voidaan jakaa vielä alaosiin sen mukaan, kummasta järjestelmästä tulee tietoa liikkeestä. (Benson 1999a). Taulukossa 4.1 on esitetty erityyppiset ristiriidat ja esimerkit näistä tilanteista.

Taulukko 4.1 Esimerkki konfliktin aiheuttavasta tilanteesta: (Benson 1999a)

Tyyppi	Silmä (A) – tasapainoelin (B) ristiriita	Kaarikäytävä (A) – tasapainokivi (B) ristiriita
Tyyppi 1 (A) ja (B) antavat yhtäaikaan ristiriitaista tietoa	Kartan lukeminen turbulenttisella lennolla	Pään liikuttaminen jyrkän kaarron aikana
Tyyppi 2 (I) (A) antaa signaalia ilman odotettua signaalia (B):stä	“Simulaattori sairaus”: Näkökettä liikkuu ilman todellista liikettä	Pään liikuttaminen painottomassa tilassa
Tyyppi 2 (II) (B) antaa signaalia ilman odotettua signaalia (A):stä	Katsominen koneen sisälle sen liikkuessa	Pyöriminen muun kuin pystysuoran akselin ympäri

Oman (1982) on luonut sensoriristiriiteteorialle oman matemaattisen mallin. Tämä matemaattinen malli pyrkii kuvaamaan tietojen prosessointia aivoissa ja liikesairauden aiheuttavan konfliktin syntyä. Mallin mukaan liikesairautta aiheuttaa kaiken aistitun tiedon vektorin ja kaiken aikaikaisemman kokemuksen perusteella odotetun tiedon vektorin välinen ero. Tämä malli sopii Bensonin (1988a Blesin 1998 mukaan) kuvailemaan sensoriseen konfliktiin, mutta alkuperäisessä Reasonin (1975 Blesin 1998 mukaan) mallissa konflikti on kuvailtu eri tavalla (Bles et al. 1998). Malli on esitetty kuvas-



Kuva 4.1 (muokattu lähteestä Bles et al. 1998) Omanin (1982) malli liikesairautta aiheuttavan ärsyksen synnystä Reasonin (1975) teorian mukaan.

sa 4.1. Mallissa vasemmassa reunassa oleva x_0 kuvaa haluttua asentoa. Haluttuun asentoon pääsemiseksi luodaan lihaskäskyjä (m), jotka johtavat kehon dynaamisten ominaisuuksien (B) takia asentoon x . Nämä signaalit yhdessä ulkopuolisten häiriöiden kanssa havaitaan reseptoreissa (S), joista lähtee aisteilta tuleva tieto a . Omanin mukaan sisäinen malli kehon liikkeistä ja toiminnoista koostuu samoista komponenteista (\wedge -symbolilliset laatikot), joissa lasketaan oletettu aisti-informaatio \hat{a} . Vektorien a ja \hat{a} välistä erotusta kuvaa vektori c , jota painotetaan K_c -yksikössä. Painotettu tulos syötetään takaisin järjestelmään sisäisen mallin korjaamiseksi ja parantamiseksi, jotta se vastaa paremmin kehon liikkeitä. Toki muutkin dynaamiset muuttujat (kuten rotaatio, nopeus ja kiihtyvyys) kuin asento (x) tulee aistia ja laskea. Omanin mukaan liikesairautta aiheuttaa sisäisen ja aistitun liikkeen välinen ero, vektori c . (Bles et al. 1998).

4.2.2 "Subjective vertical"-hypoteesi

Bles ja Bos alkoivat kehittelmään omaa teoriaansa Reasonin (1975) sensorisen konfliktiteorian pohjalta, koska heidän mielestä alkuperäinen teoria ei kuvannut liikesairautta tarpeeksi hyvin (Bles et al. 1998). Heidän mukaan oli vaikeaa luokitella syntynyttä liikesairautta johonkin tiettyyn yhteen Reasonin (1975) esittämistä luokista. Tämän takia Bles et al (1998) ovat tulleet siihen tulokseen, että liikesairaus syntyy tilanteissa, joissa subjektiivivertikaali ("subjective vertical"), maan vetovoiman sisäinen esitys, on uhattuna. Tätä voidaan kuvata kahdella esimerkillä.

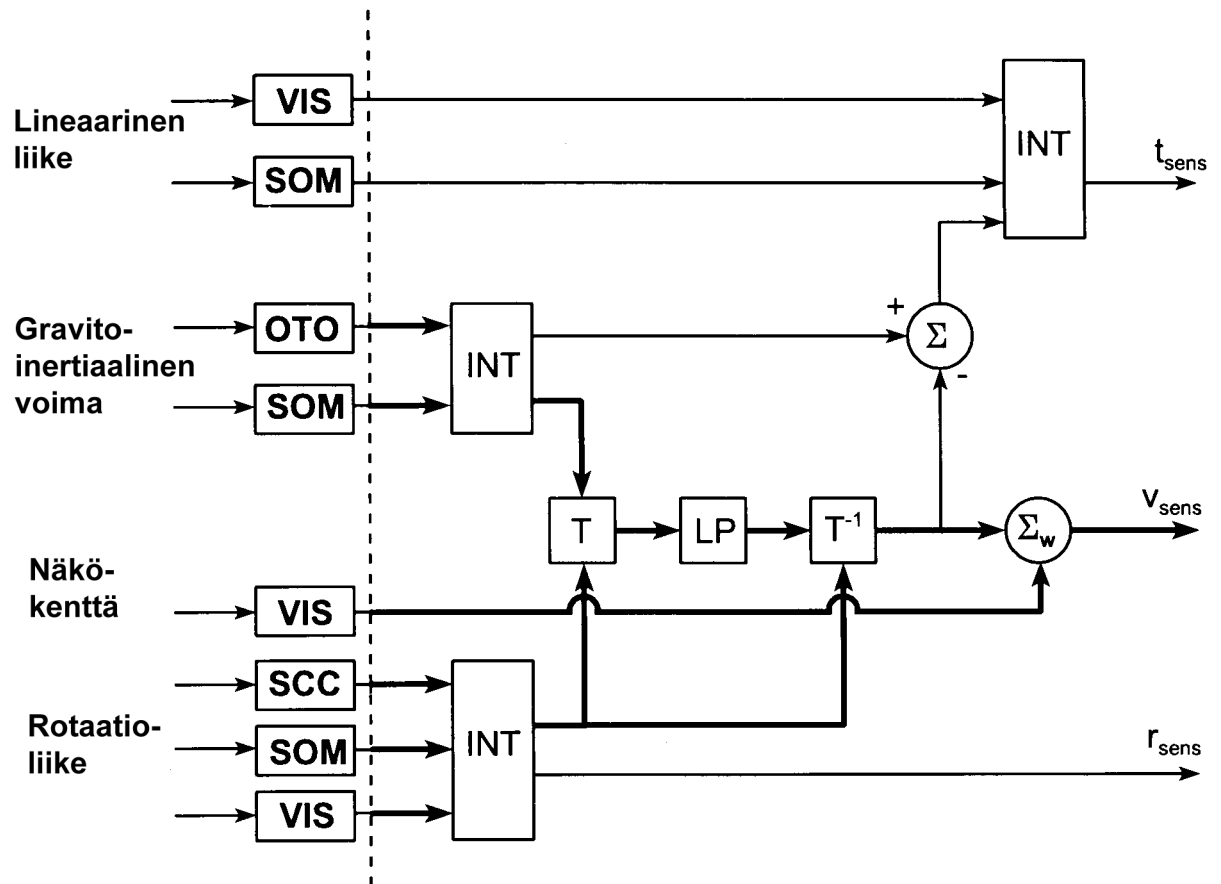
Ensiksi, pitkäkestoisen sentrifuugissa olon jälkeen pään liikkeet, jotka muuttavat pään asentoa suhteessa maan vetovoima vektoriin, altistavat henkilön liikesairaudelle. Tällön henkilön istuessa suorassa pään rotaatio x - ja y -akselin suhteen aiheuttaa liikesairautta, kun taas rotaatio z -akselin suhteen saattaa ainoastaan aiheuttaa liikeharhoja, mutta ei liikesairautta (Bles et al. 1998). Henkilön taas maatessa kyylljellään rotaatio x - ja z -akselin suhteen aiheuttaa pahoinvointia, kun taas rotaatio y -akselin suhteen ei (Bles et al. 1995 Blesin 1998 mukaan). Näiden havaintojen mukaan sensoriset konfliktit saattavat myötävaikuttaa liikesairauden synnyssä, mutta aiheuttavat liikesairauden ainoastaan silloin, kun konfliktin takia subjektiivisen vertikaalin määrittely on vaarassa (Blew et al. 1998).

Toiseksi tutkittaessa optokineettistä rotaatiovektiota on havaittu, että niissä ei juurikaan synny liikesairautta, vaikka visuaalisen ja vestibulaarisen informaation välillä

d päivittämää vektoria v_{exp} kutsutaan tästä eteenpäin subjektiivivertikaaliksi (v_{subj}). Subjektiivisen vertikaalin päättelyyn saattaa kuitenkin liittyä psykofysiologisia toimintoja. Näitä toimintoja varten mallissa on vielä osa F , jonka tuloksena saadaan mitattu subjektiivivertikaali eli v_{meas} . Tässä mallissa liikesairautta aiheuttaa Omanin mallista poiketen vektori d , joka on vektorien v_{sens} ja v_{subj} erotus. (Bles et al. 1998).

Mekanismit, joilla aivot tuottavat v_{sens} :in tapahtuvat V :n sisällä. Näitä mekanismeja on kuvattu kuvassa 4.3. Aistittua pystysuuntaa (v_{sens}) laskettaessa yhdistetään kaikista mahdollisista aistijärjestelmistä saatava tieto yhden asentotajun muodostamiseksi. Bles olettaa, että näistä tiedoista syntyy kolme signaalia: aistittu rotaatio (r_{sens}), aistittu liike (t_{sens}) ja aistittu pystysuunta (v_{sens}).

Rotaation määrittäminen on aistien perusteella suhteellisen yksinkertaista. Tuloksena syntyy r_{sens} . Pystysuunnan (v_{sens}) määrittely aistitusta gravito-inertiaalisesta voimasta on jo huomattavasti haastavampaa. Koska ihmisen normaalisti liikkeessä ei esiinny jat-



Kuva 4.3 (Bles et al 1998) Periaatekuva kehon liikkeen rotaation ja pystysuunnan laskemiseksi. Kuva kytkeytyy kuvaan 4.2 siten, että katkottu pystyviiva kuvaa V -osan signaalien sisääntuloa. Viivasta vasemmalle olevat osat kuvaavat vektoria a ja oikealle olevat osat V -osan sisältöä. Paksunnetut viivat osallistuvat aistitun pystysuunnan (v_{sens}) määrittelyyn.

kuvia tasaisia kiihtyvyyksiä tai nopeuksia, on oletettu, että maan vetovoimavektori eli pystysuunta saadaan alipäästösuotimalla gravito inertiaalista vektoria. Tämä on järkevä lähestymistapa ottaen huomioon sen, että rotaatioinformaatiota (r_{sens}) käytetään vähentämään nopeiden pään kallistusten aiheuttamia haittoja. Matemaattisessa mallissa tämä saadaan aikaan muuntamalla T-osassa koordinaatistoa pään rotaation mukaan, jotta havaitun gravito inertiaalisen vektorin suunta ei vaihtelee pään kääntöjen ansiosta. Tämä mahdollistaa alipäästösuotimen käytön maan vetovoimavektorin erottamiseksi gravito inertiaalisesta voimasta. Alipäästösuotimen jälkeen aistittu pystysuunta (suhteessa päähän) saadaan muuntamalla koordinaatisto takaisin alkuperäiseen asentoonsa T-osan käänteisosassa T^{-1} . Jos gravito inertiaalisen voimavektorin suunnan muutos ei täsmällisesti vastaa r_{sens} :in osoittamaa suunnan muutosta, alipäästösuotimen on tarkoitus varmistaa, että v_{sens} eli pystysuunta aistitaan oikein eli toisin sanoen se on maan vetovoimavektorin suuntainen. Blesin mukaan Glasauer (1992) ja Mayne (1974) ovat käyttäneet tällaista lähestymistapaa aikaisemmin. Alipäästösuodin sopii kokeellisiin havaintoihin, joissa jatkuva vaakatasossa tapahtuva lineaarinen kiihtyvyys aistitaan hitaasti muuttuvan kallistukseksi (de Graaf et al. 1995 ja Stockwell et al. 1970 Blesin 1998 mukaan). Vektori t_{sens} saadaan v_{sens} - ja maanvetovoimavektorin erotuksesta. (Bles et al. 1998). Näköaistin on oletettu osallistuvan v_{sens} -vektorin määrittelyyn vasta myöhäisessä vaiheessa alipäästösuotimen jälkeen, koska näköaistin avulla ihminen pystyy lähes välittömästi aistimaan vaakatason ja pystysuunnan. On arvioitu, että sisäinen malli käyttää samoja tapoja vektoreiden v_{exp} ja v_{subj} laskemiseksi (Bles et al. 1998). Vektori d siis pyrkii päivittämään myös sisäistä mallia, mutta lisäksi aiheuttaa liikesairautta. Koska d on vektori, ei ainoastaan sen pituus vaan myös sen suunta vaikuttaa liikesairauden syntyyn ja voimakkuuteen (Bles et al. 1998). Matemaattinen tarkastelu pystysuuntaisten liikkeiden provokatiivisuuden ennustamisesta on esitetty Bosin ja Blesin julkaisussa "Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions" (1998).

Subjektiiivinen vertikaaliteoria vastaan yleinen sensorisen konfliktin teoria

Jotta subjektiivivertikaaliteoriaa voitaisiin pitää pätevänä, sen täytyy pystyä vastaamaan kaikkiin eri tilanteisiin, joissa liikesairautta esiintyy. Tämän testaamiseksi voidaan selvittää toimiiko teoria kaikissa niissä eri kategorioissa, joita on yleisesti hyväksyttyssä Reasonin (1975) sensorisen konfliktin teoriassa.

Sensorisessa konfliktiteoriassa liikesairautta aiheuttaa poikkeavuus odotettujen signaalien (\hat{a}) ja aistittujen signaalien (a) välillä eli vektorin c pituus (kuva 4.3). Tällainen tilanne esiintyy passiivisessa liikkeessä, jota henkilö ei pysty ennakoimaan. Passiivinen liike ei kuitenkaan välttämättä vaikuta subjektiiviseen vertikaaliin. Tämä saattaa selittää, miksi ihmiset voivat pahoin toisissa tilanteissa ja toisissa eivät, vaikka molemmissa tapauksissa vektori c on pitkä. Esimerkiksi henkilön seistessä v_{sens} ja v_{subj} vastaavat toisiaan. Henkilöä tönäistäessä odottamattomasti sisäinen malli ei heti havaitse tätä, jolloin sen tuottama informaatio \hat{a} ja sita kautta myös v_{exp} ei myöskään heti muutu. Tönäisyksen jälkeen sensorit kuitenkin välittömästi viestisivät liikkeestä (a), mikä johtaa välittömästi vektorin c kasvamiseen. Tämä johtaa sensorisen konfliktiteorian mukaan liikesairauden kehittymiseen. Subjektiivisen vertikaalin mallissa maan vetovoimavektorin suunnan sisältävä v_{sens} ei juurikaan muutu, koska tönäisyys on niin nopeataajuinen (kuva 4.3). Tämän takia v_{sens} ja v_{subj} pysyvät saman suuntaisina eikä vektori d kasva eli liikesairauttaakaan ei pitäisi syntyä. Aikaisempien havaintojen perusteella tiedetään, että tällaisessa tilanteessa pahoinvointia ei synny. Vektorin c merkitys on kuitenkin suuri, koska se estää kaatumisen antamalla tietoa oikean suuntaisista lihaskomennoista. Pää ero subjektiivivertikaaliteoriassa verrattuna sensorikonfliktiteoriaan on se, että odotetun ja aistitun sensoritiedon välillä voi olla suuri ero sen aiheuttamatta pahoinvointia, kunhan v_{sens} ja v_{subj} pysyvät saman suuntaisina. (Bles et al. 1998).

Yksi mielenkiintoinen kysymys on se, miksi subjektiivin vertikaalin määrittelyssä esiintyvät ongelmat aiheuttavat pahoinvointia. Treisman (1977) on esittänyt, että liikesairaudella on merkitystä myrkköjen tunnistuksessa. Bles et al. (1998) esittää, että pystyasennon säilyttämiseksi voi pystysuunnan merkitys olla organismille kriittisen tärkeää. Riccio et al. (1991) on esittänyt kokonaisen teorian liikesairauden synnystä kehon orientaation ympärille (Bles et al. 1998). Toinen mahdollinen selitys voi olla se tutkimustulos, että sydän- ja verisuonijärjestelmä tarvitsee tietoa kehon asennosta säilyttääkseen verenpaineen oikean suuruisena (Yates et al. 1998 Blesin 1998 mukaan).

4.3 Liikesairauden ennustettavuus

Liikesairaus riippuu monista tekijöistä. Kaikkia tekijöitä ja mekanismeja ei vielä tunneta. Tämä tekee liikesairauden ennustamisen vaikeaksi. Persoonallisten ominaisuuksien ja aikaisempien kokemusten vaikutusta herkkyydelle liikesairauteen on yritetty tutkia erilaisilla kyselyillä. Näissä kyselyissä ongelmallista, että kyselyyn vastaavat

henkilöt antavat usein epätarkkaa tietoa. Toisinaan tieto on myös tahallaan vääristettyä, kuten usein valintatestien yhteydessä esimerkiksi haettaessa lentokoulutukseen. (Shupak et al. 2006).

Yksi mahdollisuus herkkyyden tutkimiseen on hakijoiden altistaminen maassa liikesarjalle, jonka tiedetään aiheuttavan liikesairautta. Hakijoiden, joiden todetaan kestävät liikesarjaa huonosti maassa, oletetaan olevan herkempiä myös muunlaiselle epätavallisille liikesarjoille ilmassa tai merellä (Kennedy et al. 1962 Shupakin 2006 mukaan). Myös näköaistin ja tasapainoelimen yhteistoimintatestissä löydettiin positiivinen korrelaatio kirjainten tunnistuksessa esiintyneen virheprosentin ja lentopahoinvoinnin välillä (Lentz et al. 1978 Shupakin 2006 mukaan). Testissä koehenkilöt laitettiin lukemaan kirjainrivejä valaistusta taulukosta pimeässä istuen tuolissa, joka laitettiin pyöritelmään puolelta toiselle sinikäyrän mukaisesti alhaisella taajuudella. Testi perustuu havaintoon, että fiksaatio alhaisella taajuudella tapahtuvan liikkeen aikana aiheuttaa pahoinvointia.

Tutkimalla vestibulo-okulaarisia refleksejä voidaan myös arvioida yksilön herkkyyttä liikesairaudelle. Vestibulaaristen vasteiden on havaittu olevan voimakkaampi yksilöillä, jotka ovat herkempiä liikesairaudelle. Vestibulo-okulaarisen refleksin voimakkuus myös laskee huomattavasti yksilön sopeutuessa merellä esiintyviin liikeympäristöihin (Shupak et al. 1990b Shupakin mukaan 2006). Kolev et al. (1992 Shupakin 2006 mukaan) on tullut saman suuntaisiin tuloksiin. Hän totesi kalorisen kokeen vasteen pienevän altistettaessa koehenkilö 72 tunniksi meriolosuhteisiin.

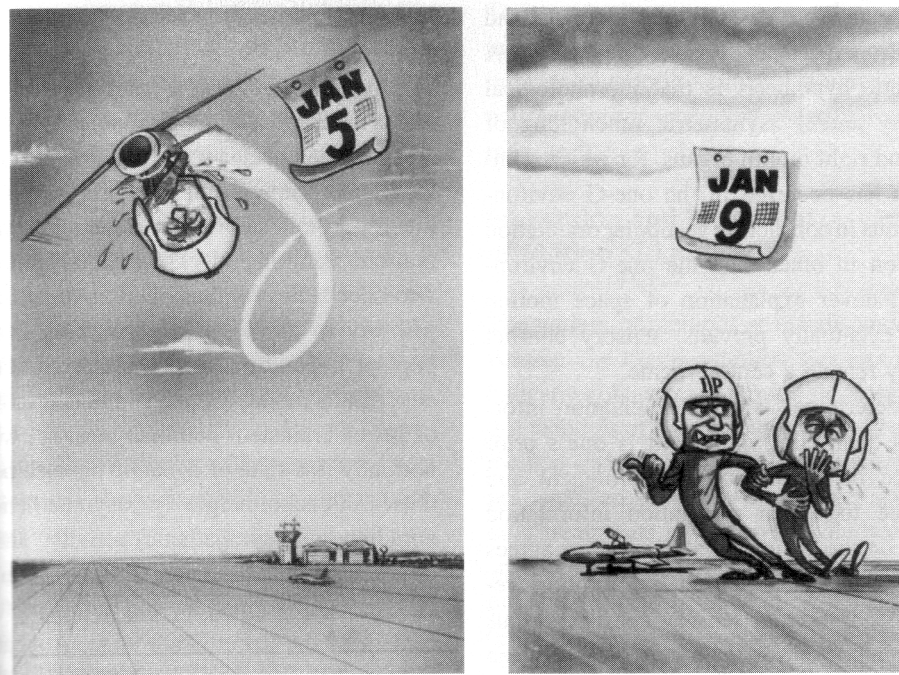
Liikesairauteen korreloivista fysiologisista tekijöistä ja tottumisesta uusiin liikeympäristöihin sekä virheellisiin sensorisiin tietoihin on saatu paljon uutta tietoa. Silti ei olla pystytty löytämään yhtä selkeää tekijää, joka olisi tarpeeksi herkkä ja spesifi, jotta yksilöiden herkkyyttä pahoinvoinnille voitaisiin diagnosoida (Kennedy et al. 1989 Shupakin 2006 mukaan). Yhden syyn löytäminen lienee vaikeaa, koska liikesairauden syntymisessä monimutkainen keskushermoston yhdistelee monimutkaisesti eri fysiologisia ja psykologisia tietoja (Graybiel 1969 Shupakin 2006 mukaan).

4.4 Liikesairauden ehkäisy ja hoito

Ilmavoimien sotilaslentäjäkoulutukselle olisi edullista, että pahoinvointiin taipuvaiset sotilaslentäjänalut saataisiin karsittua jo valintavaiheessa. Tämä karsiminen on kuitenkin äärimmäisen vaikeaa lentopahoinvoinnin monimutkaisuuden vuoksi. Voidaan määrittää kolme toisistaan suhteellisen riippumatonta tekijää, jotka yksilössä vaikuttavat lentopahoinvoinnin ilmenemiseen. Vastaanottokyky määrittää kuinka nopeasti yksilö voi omaksua saadun ristiriitaisen tiedon ja reagoida siihen. Toiseksi sopeutuvuus määrittää sen kuinka nopeasti totutaan epänormaaliin liikeympäristöön, jolloin oireet pienenevät ja häviävät. Viimeiseksi säilyvyys, joka määrittää kyvyn pysyä sopeutuneena uuteen ympäristöön lentojen välillä. Näiden kykyjen testaaminen luotettavasti on kuitenkin niin vaikeaa, ettei karsimista kannata tehdä sen perusteella. Tasapainoelimiä testaavilla testeillä kuitenkin kannattaa karsia selkeitä tapauksia. Tosiasiassa sopeutuminen nopeasti ilmassa olemiseen helpottaa lentopalvelusta huomattavasti. (Gillingham et al. 1996). Liikesairauden ongelmana lentokoulutuksen kannalta ei kuitenkaan ole niin voimakkaasti pahoinvointi, koska lento yleensä keskeytetään ennen sitä. Pahoinvointia ennen esiintyvät liikesairauden oireet aiheuttavat enemmän ongelmia, koska oppilas ei voi keskittyä lentotehtävään. Useita lääkinnällisiä ja ei-lääkinnällisiä vastatoimia on kehitetty liikesairauden ehkäisyyn ja oireiden hoitoon niiden ilmaannuttua (Shupak et al. 2006).

4.4.1 Ehkäisy ja vastatoimet

Jos sotilaslento-oppilas on taipuvainen liikesairauteen, hänelle saattaa kehittyä ehdollinen refleksi liikesairauteen. Jättämällä lentämättä kaikkein pahimmat liikkeet lentokoulutuksen alkuun voidaan ehkäistä liikesairauden syntyä. Ehdollinen refleksi on mielenkiintoinen reaktio. Tämä on sama ilmiö kuin Pavlovin koirilla, jotka oppivat erittämään sylkeä kellon soitolla. Ehdollinen refleksi kehittyy, jos lentokoulutus etenee liian nopeasti kyseiselle yksilölle. Yksilö ei ehdi sopeutua uuteen liikeympäristöön ja voi pahoin. Oppilaalle voi tästä kehittyä tahdosta riippumaton refleksi. Tällöin hänelle tulee pahoinvoinnin oireita jo pelkästä lentokoneen näkemisestä (kuva 4.4). Lentopalveluksen ensimmäisillä lennoilla olisikin hyvä, että liikkeet olisivat mahdollisimman vähän stimuloivia ja oppilas saisi itse ohjata, koska tämä vähentää pahoinvointia. On myös tärkeää, että opettajalla on tarpeeksi ammattitaitoa seurata oppilasta, jotta lentoliikkeet eivät ole liian provosoivia. (Gillingham et al. 1996).



Kuva 4.4 (Gillingham et al. 1996) Lento-oppilaan voidessa toistuvasti pahoin, hänelle kehittyy ehdollinen refleksi. Refleksin synnyttyä hän voi alkaa voida pahoin pelkästään näkemällä tai haistamalla koneen jo ennen lentoa.

Kaikki keinot, jotka vähentävät ristiriitaisia aistihavaintoja, nopeuttavat adaptaatiota, poistavat pahoinvointia aiheuttavia tekijöitä ja lisäävät psykologisesti helpottavia tekijöitä, voivat olla hyödyllisiä liikesairauden vähentämisessä (Dobie et al. 1994 Shupakin 2006 mukaan). Esimerkiksi horisonttiin tai johonkin muuhun kaukaiseen kohteeseen katsominen helpottaa aistijärjestelmän toimintaa ja vähentää siten konflikteja. Tämä todettiin kokeessa, jossa koehenkilöitä altistettiin rotaatioliikkeelle kallistettavassa huoneessa. Kun huoneeseen projisoitiin keinotekoinen horisontti, koehenkilöillä ilmeni vähemmän liikesairauden oireita (Rolnick et al. 1989 Shupakin 2006 mukaan). Pään kääntelyjen minimoiminen ja pään suuntaaminen gravitoinertiaalisen vektorin suuntaan pitäisi vähentää pahoinvointia. Subjektiiivertikaaliteorian mukaan näiden pitäisi vähentää aistitun pystysuunnan poikkeamista subjektiivista vertikaalista (Bles et al. 1998).

On myös havaittu, että tunnin mittaisella oppitunnilla lentopahoinvoinnin perusteista voidaan vähentää lentopahoinvointia noin 30 %. Tunnilla tulee käydä läpi lentopahoinvoinnin oireita ja niiden tunnistusta, tasapainoelimen toimintaa, sekä pieniä vähentäviä ja poistavia toimenpiteitä, kuten ruokavalion ja aikataulun merkitystä. (Sovelius 2003).

Tumman visiirin käyttäminen kirkkaiden ja sitä kautta visuaalisten ärsykkeiden vähentämiseksi saattaa vähentää pahoinvointia (Shupak et al. 2006). Kuten myös rasvaisten ja isojen annosten syöminen ennen lentoa sekä lennolla hajujen välttäminen ja viileän ilman puhaltaminen kasvoille vähentää lentopahoinvointia. Uggeldahlin (2006) tutkimusten mukaan lentopahoinvointia esiintyi eniten 3-4 tuntia aterian jälkeen. Tietoisten toimintojen ja säädellyn hengityksen on myös raportoitu vähentävän liikesairautta (Cowings et al. 2000, Dobie et al. 1994 ja Yen-Pik-Sang et al. 2005 Shupakin 2006 mukaan).

4.4.2 Lääkinnällinen hoito

Lääkinnällinen hoito olisi ylivoimaisesti kätevin ja halvin tapa päästä eroon liikesairaudesta, vaikka nykyiset lääkkeet eivät täydellisesti poistakaan liikesairautta. Nykyisillä lääkkeillä on niin paljon sivuvaikutuksia, että sotilaslentäjä ei voi niitä käyttää (Shupak et al. 2006). Tosin joissakin maissa käytetään ensimmäisillä lennoilla lääkitystä liikesairauden välttämiseksi lento-oppilailla, joilla liikesairauden esiintyminen on todennäköistä (Benson et al. 2006b). Tämä estää myös ehdollisen refleksin kehittymisen (kuva 4.4), koska oppilas ei alussa voi pahoin (Gillingham 1996). Näillä lennoilla on kuitenkin aina opettaja mukana, koska lääkkeiden käyttö yksinlennolla on kielletty. Lääkkeiden käyttöä ei tule jatkaa yhtään pidempään kuin on välttämätöntä, koska on todisteita siitä, että ainakin scopolamiini haittaa sopeutumista lentokoneen liikkeisiin. Näin sisäinen malli ei pääse päivittymään uuden liikeympäristön vaatimuksiin, jolloin lääkitys lopetettaessa pahoinvointi palaa.

Tehokkain lääke liikesairauden ehkäisyyn on scopolamiini (0,3 mg) käytettynä yhdessä efedriinisulfaatin (25 mg) tai dexamfetamiinin (5 mg) kanssa (Benson et al. 2006b). Sotilaslentäjälle se ei kuitenkaan sovi, koska lääkkeillä on keskushermostoa lamauttava vaikutus. Sotilaslentäjät joutuvat odottamaan uusien kehitteillä olevien lääkkeiden tuleamista markkinoille. Kotilääkeena liikesairauteen on käytetty inkivääriä, mutta sillä ei ole kuitenkaan kokeissa havaittu selkeitä vaikutuksia (Shupak et al. 2006).

4.4.3 Totuttaminen

Useilla ”isoilla” ilmavoimilla on oma totuttamiskoulutus liikesairauden vähentämiseksi. Tällaiset ohjelmat voivat sisältää oppitunteja, maassa tapahtuvia pyöriytyksiä sekä

oikeita lentoja. Myös osittainen lääkkeitä on mahdollista. Royal Air Force:n (RAF) totutuskoulutus sisältää kolmiviikkoisen maaosuuden, jota seuraa 10-15 tunnin totutuslento-osuus kaksinlentoa (Benson et al. 2006b). Koulutuksen tulokset ovat olleet hyviä. 83 % ohjelman suorittaneista ovat jatkaneet koulutuksensa onnistuneesti loppuun. Vain 7 % joutui keskeyttämään koulutuksensa lentopahoinvoinnin takia (Scopes et al. 2003).

Hollantilaisilla on myös oma lentopahoinvointiärsykkeiden totutteluohjelma (De-sensitisation program). Heidän ohjelmansa avulla 90 % lento-oppilaista pääsi eroon pahoinvoinnista ja pystyi jatkamaan koulutustaan. Bos et al. (2002) ovat tutkineet lentopahoinvointia Hollannin ilmavoimille. Hollannin ilmavoimien lentopahoinvointiin totutuskoulutus ei sisällä lentoja, vaan ainoastaan maassa suoritettavia pyöryksiä.

Yhdysvalloissa on eri puolustushaaroilla käytössä omia hoitokeinoja. Navy käyttää itse tahdistettua totutteluohjelmaa (Self Paced De-sensitisation program, SPAD) ja USAF:lla on käytössä biofeedback hoito-ohjelma. SPAD:n avulla noin 74 % oppilaista pääsee eroon lentopahoinvoinnista ja biofeedbackin ansiosta vähintään 84 % pystyy jatkamaan lentopalvelusta. Ohjelma kestää noin 8 viikkoa (Porter 2002). Lisää tutkimusta kohdistetaan järjestelmän kehittämiseen, jotta prosentteja saataisiin nousemaan. (Sovelius 2003).

4.5 Lentopahoinvoinnin prevalenssi

Lentopahoinvoinnin prevalenssi lentäjien osalta on aika vähäistä. Maailmalla lentopahoinvoinnista kärsivät enemmän erikoisjoukkojen sotilaat ja navigaattorit, jotka lentävät lentäjiä vähemmän eivätkä itse ohjaa lentokonetta. Heillä ei myöskään välttämättä ole edes mitään visuaalisia referenssejä kuten horisonttia, koska he saattavat olla lentokoneen ”rahtitilassa” ja seurata esimerkiksi tutkanäyttöjä. Toki myös erilaiset lentotehtävät vaikuttavat lentopahoinvoinnin esiintyvyyteen. Esimerkiksi pyörremyrskyjen läpäisylennoilla esiintyy lähes 100 prosentilla lentokoneessa olijosta lentopahoinvointia. Toimen ääripää ovat tavalliset siviili liikennelennot, joilla alle yksi prosentti matkustajista voi pahoin (Benson et al. 2006b).

Sotilaslentäjillä lentopahoinvointia esiintyy eniten alkeiskoulutuksen aikana, jolloin se hidastaa ja vaikeuttaa koulutuksen etenemistä. Tutkimus Royal Air Forcen (RAF) len-

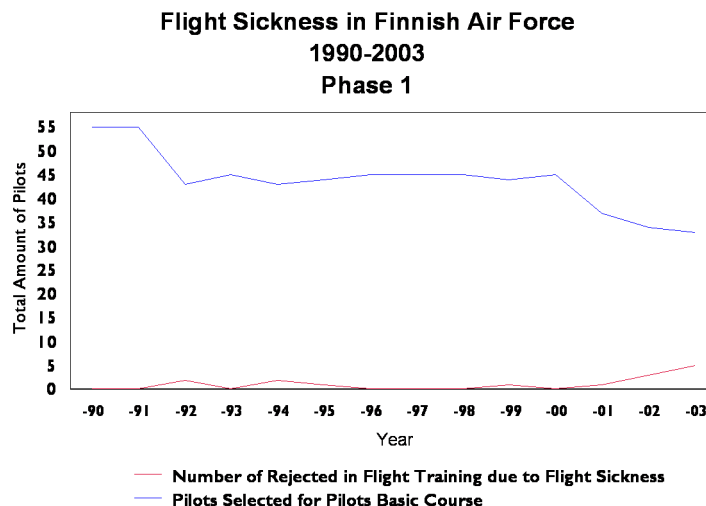
to-oppilaista paljasti, että 39 prosenttia oppilaista koki lentopahoinvointia koulutuksen alkuvaiheessa. Noin 15 prosenttia lento-oppilaista joutui keskeyttämään koulutuksen lentopahoinvoinnin takia. (Benson et al. 2006b). Luvut ovat ristiriitaisia Gillinghamin (1996) lukuihin, joiden mukaan vain noin 1 prosentti sotilaslento-oppilaista joutuu keskeyttämään koulutuksen lentopahoinvoinnin takia.

Yleensä lentokoulutuksen alun jälkeen lentopahoinvointitapausten määrä tippuu radikaalisti, kunnes se taas nousee taktisen koulutuksen alussa. Lennonopettaja voi huomattavasti vähentää omilla toimillaan oppilaalle tulevaa ärsykettä ensimmäisillä lennoilla. Ensimmäisten lentojen ei tulisi olla testejä oppilaan kyvystä sietää lentopahoinvointia (Benson et al. 2006b). Kokeneiden lennonopettajien oppilaat eivät voi niin useasti pahoin kuin noviisien opettajien oppilaat (Gillingham et al. 1996). Lentopahoinvoinnin oireiden kehittäminen koulutuksen alkuvaiheessa ei nopeuta adaptaatiota uuteen liikeympäristöön. Päinvastoin se vain lisää paineita ja ahdistusta sotilaslento-oppilaalle ja saa hänet epäilemään, onko hänestä lentäjäksi. Kun sotilaslentäjä on koulutettu operationaaliselle tasolle, hän kärsii vain hyvin harvoin lentopahoinvoinnista. Lentopahoinvointia voi seurata taukojen jälkeen tai hänen ollessa kyydissä esimerkiksi taistelulennolla (Gillingham et al. 1996 ja Benson et al. 2006b).

4.5.1 Prevalenssi Ilmavoimissa

Suomen Ilmavoimissa lentopahoinvointi on ylivoimaisesti suurin haaste lentokoulutusjärjestelmälle. Se on myös lentoturvallisuusriski. Lentopahoinvointi on suurin yksittäinen syy lentokoulutuksen keskeytymiseen. Pahoinvoinnin ilmeneminen oppilaalla yli neljä kertaa yleensä keskeyttää hänen koulutuksensa. Tällä hetkellä Ilmavoimissa ei hoideta lentopahoinvointia millään tavalla raha- ja aikaresurssien takia. On myös muistettava, että kaikkia oppilaita ei voida lennättää resurssien takia loppuun asti, vaan huonoimmat on karsittava koulutuksen edetessä. Joissain tapauksissa lentopahoinvointi saattaa helpottaa tätä karsintaa. (Sovelius 2003).

Viime vuosina lentopahoinvointitapaukset ovat lisääntyneet. Yksi suuri syy tähän on raportointijärjestelmän muuttaminen. Toiseksi otosmäärät ovat myös niin pieniä, että pieni heilahtelu tilastoissa on luonnollista. Kuvassa 4.5 on esitetty ohjaajan alkeiskurssien lentopahoinvointitilastoja. Tilastoja on kuitenkin eriteltävä pienenpiin osiin, jotta saadaan oikea kuva pahoinvoinnista. Ilmavoimissa lentopahoinvointitapauksista

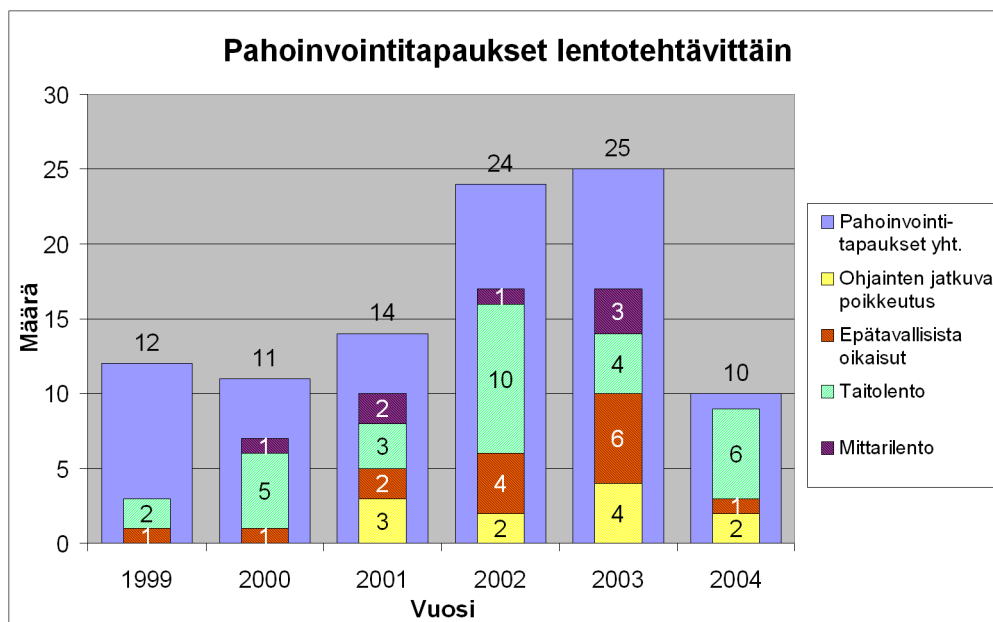


Kuva 4.5 (Sovelius 2003) Oppilaiden määrä ja lentopahoinvoinnin takia karsittujen määrä vuosina 1990 – 2003

täytetään psykofysiologinen häiriöilmoitus. Lentopahoinvointitilastot perustuvat näihin häiriöilmoituksiin. Kopio psykofysiologisesta häiriöilmoituksesta on liitteessä 2.

Uggeldahl (2006) on laskenut lentopahoinvoinnin esiintyvyyttä alkeiskoulutuksessa lennoilta kirjoitetuiden häiriöilmoitusten perusteella. Hänen mukaan prosenttiluvuissa esiintyy virheitä, koska hän on käyttänyt kaikkien kurssien vahvuutena todellisen sijaan 38 henkilöä. Uggeldahlin mukaan lentopahoinvointia on lähivuosina esiintynyt alkeiskoulutuksessa seuraavasti:

- 1994 (LntRUK 68): 21 %
- 1995 (LntRUK 68): 5 %
- 1996 (LntRUK 70): 18 %
- 1997 (LntRUK 71): 18 %
- 1998 (LntRUK 72): 11 %
- 1999 (LntRUK 73): 16 %
- 2000 (OAK 74): 21 %
- 2001 (OAK 75): 21 %
- 2002 (OAK 76): 26 %
- 2003 (OAK 77): 32 %
- 2004 (OAK 78): 16 %
- 2005 (OAK 79): 34 %



Kuva 4.6 (Nykyri 2005) Pahoinvointitapaukset lentotehtävittäin. Vuosi vastaa kurssia, joka aloitti tuona vuonna lentopalveluksen eli 1999 vastaa Ohjaajakurssia 73 jne.

Kuvassa 4.6 on esitetty pahoinvointitapaukset lentolajeittain. Kuvassa on käytetty pohjana häiriöilmoitustilastoja vuosilta 1994-2004 (Sovelius 2004b). Häiriöilmoitustilastoista nousee selkeästi esille lentoja, jotka aiheuttavat lentopahoinvointia muita enemmän. Nämä lennot ovat: ohjainten jatkuva poikkeutus (01.01.06), epätavallisista lentotiloista oikaisut ja syöksykierteet (nykyisin lennot: 01.01.14, 04.01.01 ja 01.04.03), taitolennot (04.01.02-10, 00.04.01) ja mittarilennot (03.01.05-08 ja 00.03.01). Yleisesti tilastoissa toistuvat myötävaikuttavina tekijöinä sää (turbulenssi, suttuinen horisontti ja kuumuus), lentotauko ja huono syöminen.

Ohjainten jatkuva poikkeutus 01.01.06

Ohjainten jatkuvien poikkeutuksien vaikutuksia testaavalla lennolla syntyvät lentopahoinvointitapaukset ovat turhia. Tällaisella lennolla ei ole tarkoitus testata oppilaan lentopahoinvoinnin sietokykyä (Benson et al. 2006b). Lento 01.01.06 on toinen lento oikealla koneella eli Vinkalla. Kirjoittajan omien kokemusten perusteella tällä lennolla ohjainten jatkuvia poikkeutuksia esitellään siihen asti, että kone päättyy jyrkkään syöksyyn. Tällaisen esittelyn voisi mielestäni suorittaa huomattavasti rauhallisemmin. Toisin oppilaalle, joka ei ole herkkä lentopahoinvoinnille, tämä saa suun hymyyn kuten G-voimat yleensä. Lennonopettaja ei tätä kuitenkaan välttämättä helposti huomaa, koska on itse tottunut paljon voimakkaampaan liikehdintään. Uggeldahlin (2006) mukaan 18

prosentissa näillä lennoilla ilmenneestä lentopahoinvoinnista oli häiriöilmoituksessa ilmoitettu myötävaikuttavana tekijänä turbulenssi. Lentokoulutusohjelmassa on huomautus opettajalle tarkkailla oppilasta lentopahoinvoinnin varalta lennon aikana.

Epätavallisista lentotiloista oikaisut ja syöksykierteet

Tyypilentokoulutuksessa pahoinvointia esiintyy lennon 01.01.06 lisäksi lennoilla 01.01.14 (oikaisut epätavallisista lentotiloista) ja 01.04.03 (syöksykierre) (Lentokoulutusohjelma VN1 2005 ja Sovelius 2004b). Oikaisuja epätavallisista lentotiloista on myös myöhemmin taitolentokoulutuksessa lennolla 04.01.01. Tyypilentokoulutuksen aikana kirjoitettiin noin 53 prosenttia vuosien 1994-2004 aikana kirjoitetuista häiriöilmoituksista (Uggeldahl 2006). Oikaisuissa epätavallisista lentotiloista opettaja ohjaa konetta lentäen yleensä jonkinlaista taitolentosarjaa. Tilanteisiin tulisi päätyä tynnyrin omaisilla liikkeillä (Lentokoulutusohjelma VN1 2005). Hän jättää koneen johonkin asentoon ja káskee oppilaan oikaista koneen. Opettajan lentäessä oppilas ei voi ennakoida koneen tekemiä liikkeitä, vaan ne tulevat yllätyksenä. Tämä kohottaa lentopahoinvointiriskiä. Lisäksi oppilas kokee ensimmäisiä kertoja voimakasta liikehtelyä, joten lennon voidaan oletta näkyvän tilastoissa. Syöksykierrelennoilla voi yleensä yksi oppilas vuodessa pahoin (Soveliusen kommentti pahoinvointitilastoista keskustelussa Sovelius - Nykyri 2005). Syöksykierteen ärsyttävyyys lienee siinä, että ohjaimet vaikuttavat tällöin poikkeavalla tavalla koneen liikkeeseen ja liikettä ei ensimmäisellä kerralla voi ollenkaan ennakoida. Tätä myös lisännee se, että teoria tunneilla opetus on aika pintapuolista eikä syöksykierteestä näytetä hyvää havainnollistavaa videota (kirjoittajan henkilökohtaiset kokemukset 2002).

Taitolentokoulutus

Taitolentokoulutuksessa kirjoitetaan 31 prosenttia vuosien 1994-2004 aikana kirjoitetuista häiriöilmoituksista (Uggeldahl 2006). Luonnollisesti taitolento erottuu kuvassa 4.6, koska tällöin lennetään intensiivisesti voimakkaasti ärsyttäviä liikkeitä. Uudet liikkeet vaativat taas aikansa ennen kuin oppilas tottuu niihin. Lennoilla lennetään aluksi yksittäisiä liikkeitä, mutta koulutuksen edetessä liikkeitä aletaan nivoa yhteen. Häiriöilmoitus tilastoissa (Sovelius 2004b) toistuu oppilaan ilmoitus lentotauosta taitolennolla esiintyvien häiriöilmoitusten osalta. On tärkeää, että opettaja ottaa oppilaan lentotauon huomioon lennolla.

Mittarilentokoulutus

Mittarilennoilta kirjoitetaan 8 prosenttia kaikista häiriöilmoitustilastojen (Sovelius 2004b) häiriöilmoituksista (Uggeldahl 2006). Tällöin lennetään yleensä huonossa säässä tai koneessa on mittarikuomu. Kummassakaan tilanteessa oppilas ei näe horisonttia, vaan joutuu päättämään koneensa asennon yksinomaan mittareitten avulla. Visuaalimerkkejä ei tällöin ole, mikä saattaa aiheuttaa konfliktin keskushermoston saadessa ristiriitaisia tietoja tasapainojärjestelmältä. Lisäksi satunnaisia lentopahoinvointitapauksia esiintyy pakkolaskuja harjoiteltaessa sekä suunnistuslentokoulutuksessa (Nykyri 2005).

Lentopahoinvointia voi sattua kenelle tahansa oppilaalle. Se on luonnollinen ilmiö uudessa ympäristössä. Oppilaan voidessa lennolla pahoin lentotehtävä keskeytetään. Useat lentopahoinvointi tapaukset johtavat lentopalveluksen keskeyttämiseen (Sovelius 2003). Lisää lentopahoinvoinnin aiheuttamista lentopalveluksen keskeytymisistä Ilmavoimissa on esitetty Uggeldahlin tutkielmassa ”Koulutuksen keskeytymisen syyt” (2004).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Yleistä yksimielisyyttä lentopahoinvoinnin syistä ja syntymekanismeista ei ole vielä saavutettu. Merkittävää tutkimusta tekevät Hollannissa Bles ja Bos Hollannin ilmavoimille ja heidän saavuttamista tuloksista on varmasti hyötyä myös Suomen Ilmavoimille. Hollannin ilmavoimien kanssa tehtävän yhteistyön avulla Suomen Ilmavoimat voisi vähentää lentopahoinvoinnin haittoja ja parantaa asentotajukoulutusta. Massiivisen totutuskoulutuksen käyttäminen Ilmavoimissa LentoRuk:n aikana ei kuitenkaan ole mielestäni perusteltua kustannusten ja kestoajan vuoksi. LentoRuk:n läpivienti (Rosenlund 2006) on niin tiukka, että totuttamiskoulutuksen järjestäminen käytännössä sotilaslento-oppilaille on vaikeaa. Lisäksi oppilaita ei ole vielä tässä vaiheessa sitouttettu, joten totutus saattaisi olla turhaa oppilaiden lähtiessä pois Ilmavoimista (Uggeldahl 2006). Lentopahoinvoinnin ilmaantuessa myöhemmin esimerkiksi kadettikurssilla tulisi mielestäni tutkia mahdollisuuksia totutuskoulutuksen järjestämisestä. Kadettikurssilla olevat sotilaslento-oppilaat ovat allekirjoittaneet sitoumuksen Ilmavoimille.

Asenteiden ja teoriakoulutuksen merkitystä ei ole tutkittu Ilmavoimissa. Myöskään ei ole tutkittu lennonopettajien asenteita ja tietotasoa lentopahoinvoinnista. Yleiset käsitykset lentopahoinvoinnista ovat usein virheellisiä. Osalla lentopalvelusesimiehistä on esiintynyt käsityksiä (tästä ei kuitenkaan ole tutkimustietoa), että lentopahoinvoinnista oppilaille puhuminen vain lisää liikesairauden ilmenemistä. Tutkimusten mukaan oikeanlaisella teoriakoulutuksella voidaan vähentää 30 prosenttia lentopahoinvointia (Sovelius 2003). Sekä oppilaille että opettajille annettavaa teoriakoulutusta tulisi kehittää. Mallin ottaminen muista ilmavoimista voisi olla järkevää.

Odotettaessa tehokasta sotilaslentäjille sopivaa lentopahoinvointilääkettä voitaisiin ilmavoimissa kokeilla placebolääkityksen käyttöä Royal Air Force:n mallin mukaan (Scopes 2003). Tätä ei kuitenkaan tule paljastaa lento-oppilaille, koska tällöin lääkkeen vaikutus häviää. Lumelääkkeistä on hyötyä tilanteessa, jossa oppilas jännittää pahoinvointia ja aiheuttaa sen näin itselleen. Yhteistyön tekeminen RAF:in kanssa olisi tämän asian osalta tärkeää. Heidän kokemuksiensa perusteella voitaisiin arvioida samanlaisen menetelmän käyttöä Ilmavoimissa.

Lentopahoinvoinnin luotettava testaaminen ei ole vielä mahdollista. Valintajärjestelmän kehittäminen on kuitenkin jatkuva prosessi. Erilaisten lentopahoinvointiherkkyyttä testaavien testien tutkimista ja ottamista mukaan valintatesteihin tulisi harkita. Yksi

tällainen testi voisi olla von Baumgarterin teorian mukaista okulaarista vastakiertoa testaava testi (von Baumgarten et al. 1979, Lackner et al. 1987, Diamond et al. 1992). Muutamien vuosien jälkeen voitaisiin verrata esiintyykö testeissä herkeksi todettujen ja lentopahoinvoinnin takia karsittujen välillä korrelaatiota.

Käytännön lentopalveluksessa on useita seikkoja, joita sekä oppilas että opettaja joutuu ottamaan huomioon. Silti lentopahoinvoinnin korostettu huomioonottaminen tietyillä lennoilla ja tietyissä tilanteissa on tärkeää. Tässä opettajan ammattitaito ja tietämys lentopahoinvoinnista joutuu koetukselle. On muistettava, että osa lento-oppilaista on lentokoneessa elämänsä ensimmäistä kertaa. Lentopahoinvoinnin vähentämiseksi on tärkeää, että lennonopettajilla on tuoreena mielessä kaikki pahoinvointiin vaikuttavat tekijät. Lento-ohjelmassa lennon 01.01.06 kohdalla mainitaan, että opettajan tulee tarkkailla oppilasta lentopahoinvoinnin osalta. Tällä lennolla olisi kuitenkin hyvä korostaa lentopahoinvoinnin merkitystä ja liian pitkään jatkuvien ohjainpoikkeutusten vaaroja, koska oppilaan säilyttäminen ei liene lennon tarkoituksena.

Myös muihin lentoihin, joilla lentopahoinvointia on yleensä esiintynyt, tulisi lisätä opettajalle ja oppilaalle huomautus lentopahoinvoinnin huomioonottamisesta. Näillä lennoilla tulisi myös neuvoa oppilaita pitämään päätä paikallaan, jotta lisä-ärsykeitä ei turhaan aiheutuisi. Hieman myöhemmin alkavien taitolentojen aikana lentotaukojen huomioiminen alkaa tulla tärkeämmäksi. Opettajan tulisi ennen taitolennolle lähtöä varmistua oppilaan lentotauosta. Jos oppilaalla on pitkä tauko eikä jonkin muun lennon lentäminen ennen taitolentoa ole järkevää lentopalveluksellisista syistä, lento tulisi aloittaa rauhallisesti, jotta oppilas ehtii hieman palauttaa mieleensä lentokoneessa olemisen tuntua. On hyvä muistaa, että tutkimuksien mukaan yksinlennoilla lentäjät eivät juuri koskaan voi pahoin (Gillingham 1996). Ohjainten antaminen oppilaalle to-dennäköisesti poistaa pahoinvoinnin.

Lentokoulutusohjelman löysentäminen myös varmasti vähentäisi lentopahoinvointia. Ilmavoimien lentotoiminta ja koulutus on huomattavasti nousujohteisempaa kuin esimerkiksi siviili-ilmailussa. VN1 lentokoulutusohjelma muuttuu jatkuvasti. Lentokoulutusohjelmasta on vuosien 2000 ja 2005 poistunut muutamia lentopahoinvointia aiheuttaneita lentoja. Esimerkiksi syöksykierrelentojen määrä on vähentynyt. Toisaalta koulutus ohjelman helpottaminen saattaa heikentää lentokoulutuksen laatua, jolloin samoilla pienillä resursseilla ei saada yhtä taitavia lentäjiä.

Lentokoulutuksen alussa sää on aina voimakkaasti rajoittava tekijä. Suomen sääntä lentokoulutuksen alkaessa tammi-helmikuussa ovat usein sumuisia ja pilvisiä. Jos lentojen säärajoista tingitään esimerkiksi lentoon lähdön aikana, kun harjoitusalueella on hyvää keliä, lentopahoinvoinnin suurempi esiintymistodennäköisyys tulee ottaa huomioon. Huonon näkyvyyden lisäksi turbulenssi on lentopahoinvointiin positiivisesti korreloiva tekijä. Se mainitaan useissa häiriöilmoituksissa (Sovelius 2004b). Tässäkin tilanteessa lennonopettajalla on vastuu lennon säärajojen täyttymisen seuraamisesta.

5.1 Toimenpidesuosituksia ilmavoimille

Tähän on koottu johtopäätöksien perusteella yksittäisiä toimenpidesuosituksia Ilmavoimille lentopahoinvoinnin vähentämiseksi

5.1.1 Valintajärjestelmän kehittäminen

Lentopahoinvointitodennäköisyyttä testaavan testin kehittäminen tutustumalla okulaarista vastakiertoa tutkiviin tutkimuksiin (von Baumgarten et al. 1979, Lackner et al. 1987, Diamond et al. 1992).

5.1.2 Opetussuunnitelman kehittäminen

Lennonopettajille suunnattavan teoriakoulutuksen lisääminen ja parantaminen, jotta se sisältää käytännön menetelmiä ja toimenpiteitä lento-oppilaan lentopahoinvoinnin ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi.

Lento-oppilaille suunnattavan teoriakoulutuksen lisääminen ja parantaminen, jotta se sisältää käytännön menetelmiä ja toimenpiteitä lentopahoinvoinnin ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi.

5.1.3 Lentokoulutusohjelman kehittäminen

Lentointensiteetin huomiointi varsinkin taitolentokoulutuksessa lisäämällä tästä maininta taitolennon yleisosioon sekä ensimmäisiin taitolentotehtäviin: 04.01.01-05.

Pään kääntelyjen rajoittaminen oikaisuissa epätavallisista lentotiloista ja syöksykier-teissä neuvomalla oppilasta pitämään päänsä paikallaan (merkintä lentoihin 01.01.14 01.04.03 ja 04.01.01)

Nykyään säätä tarkkaillaan kokoajan. Mutta hyvän horisontin arvioimiseen alueella tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Kynnystä lentotehtävän keskeyttämiseen tulisi madaltaa silloin, kun horisontti on huonohko.

Lennonopettajien tulisi tiedustella oppilailta lentotauon pituutta varsinkin ennen taito-lentoja (04.01.01-10).

6 LÄHTEET

6.1 Julkaisemattomat lähteet

Lentokoulutusohjelma VN 1. (2005). IlmavE Ye-os leto PAK 4.22. Tikkakoski.

Lentosotakoulun lentoturvallisuus ohjelma vuodelle 2006. (2006). Kauhava:
Lentosotakoulu

Porter H,. (2002). Navyairsick PowerPoint-diasarja. Naval Aerospace Medical
Institute.

Rosenlund V. (2006). LentoRuk 81:n läpivienti. Tikkakoski: Ilmasotakoulu

Scopes N, Pierson R. (2003). UK Presentation Airsickness PowerPoint-diasarja. HQ
Central Flying School. Henlow: RAF Centre of Aviation Medicine.

Sovelius R. (2003). Flight Sickness PowerPoint-diasarja. Kauhava.

Sovelius R. (2004a). Ilmailufysiologia PowerPoint-diasarja. Kauhava.

Sovelius R. (2004b). Psykofysiologiset häiriötilastot vuosilta 1994 - 2004 Exel-
taulukko. Kauhava.

Sovelius R, Rahko T, Siitonen S. Vestibulaarielimen kaarikäytävien osuus
lentopahoinvointiin. Ongelmien ehkäisy valintavaiheessa ja hoito lentokoulutuksessa.
Tutkimussuunnitelma. Kauhava.

VN - lentokoulutusohjelma VN 1. (2000). IlmavE Ye-os leto PAK 4.22. Tikkakoski.

6.2 Julkaistut lähteet

Barret HJ, Hood JD. (1988). Transfer of optokinetic activity to vestibular nystagmus.
Acta Otolaryngology; 105(3-4):318-327.

Benson A, Stott R jr. (2006a). Spatial disorientation in flight. Teoksessa Ernsting's Aviation Medicine, Fourth Edition (Edited by Rainford DJ, Gradwell DP). New York: Edward Arnold Ltd. s. 433-458.

Benson A, Stott R jr. (2006b). Motion sickness. Teoksessa Ernsting's Aviation Medicine, Fourth Edition (Edited by Rainford DJ, Gradwell DP). New York: Edward Arnold Ltd. s. 459-475.

Benson A. (1999a). Motion sickness. Teoksessa Aviation Medicine, Third Edition (Edited by Ernsting J, Nicholson N, Rainford J). Oxford: Butterworth-Heinemann. S. 455-471.

Benson A. (1999b). Spatial disorientation - general aspects. Teoksessa Aviation Medicine, Third Edition (Edited by Ernsting J, Nicholson N, Rainford J). Oxford: Butterworth-Heinemann. S. 419-436.

Benson A. (1999c). Spatial disorientation - common illusions. Teoksessa Aviation Medicine, Third Edition (Edited by Ernsting J, Nicholson N, Rainford J). Oxford: Butterworth-Heinemann. S. 437-454.

Benson A. (2006c). Spatial orientation in flight. Teoksessa Ernsting's Aviation Medicine, Fourth Edition (Edited by Rainford DJ, Gradwell DP). New York: Edward Arnold Ltd. s. 293-306.

Bles W, Bos J, de Graaf B, et al. (1998). Motion sickness: only one provocative conflict? Brain Res Bull; 47:481-7.

Bles W, Bos JE, Hans K. (2000). Motion sickness. Current Opinion in Neurology vol 13, s. 19-25.

Bles W, de Graaf B, Krol JR. (1995). Space adaptation syndrome and sickness induced by centrifugation: Vestibular consequences of earth anomalous gravity. Raport TNO-TM 1995 B-12. Soesterberg: TNO Human Factors Research Institute.

Bos J, Bles W, de Graaf B. (2002). Eye Movements to Yaw, Pitch, and Roll about Vertical and Horizontal Axes: Adaptation and Motion Sickness. Aviation, Space, and Environmental Medicine vol. 73, nro 5, s. 436-444.

Bos J, Bles W. (1998). Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions. *Brain Res Bull*; 47:537-42.

Brandt T. (1991). *Vertigo: Its Multisensory Syndromes*. London: Springer-Verlag

Brandt T. (2003). *Vertigo: Its multisensory syndromes*. - 2nd ed. London: Springer-Verlag.

Cheung BS, Money KE, Jacobs I. (1990). Motion sickness susceptibility and aerobic fitness: a longitudinal study. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 61, nro 3, s. 201-204.

Cowings P, Toscana W. (2000). Autogenic-feedback training exercise is superior to promethazine for control of motion sickness symptoms. *Journal of Clinical Pharmacology* vol 40, nro 10, s. 1145-1165

de Graaf B, Bos J, Tieleman W, Rameckers F, Rupert A, Guedry F. (1995). Otolith contribution to ocular torsion and spatial orientation during linear acceleration. *Naval Aerospace Medical Research Laboratory Technical Memorandum 96-3*. Pensacola: Naval Aerospace Medical Research Laboratory.

DeHart R (toimittanut). (1996). *Fundamentals of Aerospace Medicine*, Second Edition. Baltimore: Williams & Wilkins.

Diamond S, Markham C. (1992). Validating the hypothesis of otolith asymmetry as a cause of space motion sickness. *Annals of the New York Academy of Sciences* vol 656, s. 725-731

Dichgans J, Brandt Th. (1978). Visual-vestibular interaction: effects on self-motion perception and postural control. *Teoksessa Handbook of sensory physiology*, Vol. 8: Perception (Edited by Held R, Leibowitz HW, Teuber H-L). Berlin: Springer-Verlag. S. 755-804.

Dobie T, May J. (1994). Cognitive-behavioral management of motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 65, suppl 10, s. C1-2.

Dobie T, McBride D, Dobie T Jr, May J. (2001). The effects of age and sex on susceptibility to motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 72, nro 1, s. 13-20.

Ebenholtz S, Cohen M, Linder B. (1994). The possible role of nystagmus in motion sickness: a hypothesis. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 65, nro 11, s. 1032-1035.

Ernsting J, Nicholson N, Rainford J. (1999). *Aviation Medicine*, Third Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Gillingham K ja Previc H. (1996). *Spatial Orientation in Flight*. Teoksessa *Fundamentals of Aerospace Medicine*, Second Edition (Edited by DeHart R). Baltimore: Williams & Wilkins. S. 309-397.

Gillingham K ja Wolfe J. (1985). *Spatial Orientation in Flight*. Teoksessa *Fundamentals of Aerospace Medicine* (Edited by DeHart R). Philadelphia: Lea & Febiger. S. 299-381.

Glasauer S. (1992). *Das Zusammenspiel von Otolithen und Bogengängen im Wirkungsgefüge der Subjectiven Vertikale*. München: Thesis Technical University

Golding JF, Gresty MA. (2005). Motion sickness. *Current Opinion in Neurology* vol 18 nro 1, s. 29-34.

Graybiel A, Knepton J. (1978). Prevention of motion sickness in flight maneuvers, aided by transfer of adaptation effects acquired in the laboratory: ten consecutive referrals: *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 49, nro 7, s. 914-919.

Graybiel A. (1970). Susceptibility to acute motion sickness in blind persons. *Aerospace Medicine* vol 41, nro 6, s. 650-653.

Grunfeld EA, Price C, Goadsby PJ, Gresty MA. (1998). Motion sickness, migraine, and menstruation in mariners. *Lancet* vol 351 s. 1106.

Gupta V. (2005). Motion sickness is linked to nystagmus-related trigeminal brain stem input: new hypothesis. *Medical Hypothesis* vol 64, s. 1177-1181.

Helling K, Hausmann S, Clarke A, Scherer H. (2003). Experimentally induced motion sickness in fish: possible role of the otolith organs. *Acta Oto-laryngologica* vol 123, nro 4, s. 488-492.

Howard I. (1997). Interactions within and between the spatial senses. *Journal of Vestibular Research: equilibrium & orientation* vol 7, nro 4, s. 311-345.

Hu S, Stern RM. (1999). The retention of adaptation to motion sickness eliciting stimulation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 70, nro , s. 766-768.

Johson WH, Sunara FA, Landolt JP. (1999). Importance of the vestibular system in visually induced nausea and self-vection. *Journal of Vestibular Research: equilibrium & orientation* vol 9 nro 2, s. 83-87.

Kennedy R, Dunlap W, Fowkes J. (1990). Predictions of motion sickness susceptibility. *Teoksessa Motion and space sickness* (Edited by Crampton G). Boca Raton: CRC Press.

Kennedy R, Graybiel A. (1962). The validity of tests of canal sickness in predicting susceptibility to airsickness and seasickness. *Aeromedica acta* vol 33, s. 935-938.

Kramer P, Shelhamer M, Zee DS. (1998). Short-term vestibulo-ocular adaptation: influence of context. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology - Head and Neck Surgery* vol 119, nro 1, s. 60-64.

Krauzlis RJ. (2004). Recasting the Smooth Pursuit Eye Movement System. *Journal of neurophysiology*; 91(2):591-603.

Kuronen P, Myllyniemi J. (1996). Lentäjän työn kuormittavuus. *Teoksessa Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas* (Edited by Kanninen H, Kuronen P, Rintala H, Eloranta V, Myllyniemi J, Santala E, Paalimäki H). Jyväskylä: Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntakoulutustustyöryhmä.

Lääketieteen termit. (1991). Helsinki: Duodecim.

Lääketieteen termit. (2004). Helsinki: Duodecim.

Lackner J, Graybiel A, Johnson W, Money K. (1987). Asymmetric otolith function and increased susceptibility to motion sickness during exposure to variations in gravito-inertial acceleration level. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 58, nro 7, s. 652-657.

Lawther A, Griffin M. (1988a). A survey of the occurrence of motion sickness amongst passengers at sea. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 59, nro 5, s. 399-406.

Lawther A, Griffin M. (1988b). Motion sickness and motion characteristics of vessels at sea. *Ergonomics* vol 31, nro 10, s. 1373-1394.

Leigh R, Zee D. (1990). *Neurology of eye movements*, 2nd Edition. Philadelphia: FA Davis.

Lentz J, Guedry F jr. (1978). Motion sickness susceptibility: a retro-spective comparison of laboratory tests. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 49, nro 11, s. 1281-1288.

Mayne R. (1974). A system concept of vestibular organs. *Teoksessa Handbook of sensory physiology* vol VI: Vestibular system. Part 2 (Edited by Kornhuber H). Berlin: Springer-Verlag.

McCauley M, Royal J, Wylie C, et al. (1976). Motion sickness incidence exploratory studies of habituation, pitch and roll, and the refinement of mathematical model. *Teoksessa Technical report*. Goleta, CA: Human Factors Research Inc. S. 733-732.

Nykyri M. (2005). *Lentopahoinvoin Ilmavoimissa: Haittojen vähentäminen*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu. Kandidaatin tutkielma.

O'Hanlon J, McCauley M. (1974). Motion sickness incidence as a function of the frequency and acceleration of vertical sinusoidal motion. *Aerospace Medicine* vol 45, nro 4, s. 366-369.

Oman C. (1990). Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* vol 68, nro 2, s. 294-303.

- Oman C. (1982). A heuristic mathematical model for the dynamics of sensory conflict and motion sickness. *Acta Otolaryngologica Supplementum* nro 392, s. 1-44.
- Reason J. (1978). Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the Royal Society of Medicine* vol 71, nro 11, s. 819-829.
- Reason J, Brand J. (1975). *Motion sickness*. London: Academic Press. S. 83-101; 263-75.
- Riccio G, Stoffregen T. (1991). An ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecological Psychology* vol 3, nro 3, s. 195-240.
- Rintala H, Paalimäki H, Santala E. (1996). Lentäjän tarvitsema suorituskky. Teoksessa Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas (Edited by Kanninen H, Kuronen P, Rintala H, Eloranta V, Myllyniemi J, Santala E, Paalimäki H). Jyväskylä: Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntakoulutustustyöryhmä.
- Rolnick A, Bles W. (1989). Performance and well-being under tilting conditions: the effect of visual reference and artificial horizon. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 60, vol 8, s. 779-785.
- Shupak A, Gordon C, Melamed Y. (1990a). Seasickness: a review of etiology, pathophysiology, evaluation and treatment. *Harefuah* vol 118, nro 3, s. 153-157.
- Shupak A, Gordon CR. (2006). Motion sickness: Advances in Pathogenesis, Prediction, Prevention, and Treatment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* vol 77, nro 12, s. 1213-1223.
- Shupak A, Kerem B, Gordon C, Spitzer O, Mendelowitz N, Melamed Y (1990b). Vestibulo-ocular reflex as a parameter of seasickness susceptibility. *The Annals of Otolary, Rhinology, and Laryngology* vol 99, nro 2, osa 1, s. 131-136.
- Snyder LH, King WM. (1988). Vertical vestibulo-ocular reflex in the cat: Asymmetry and adaptation. *Journal of neurophysiology*; 59(2):279-298
- Sorvari J. (2006). Asentotajukoulutuksen merkitys asentotajun hallinnassa. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro-gradu -tutkielma.

- Stockwell C, Guedry F. (1970). The effect of semicircular canal stimulation during tilting on the subsequent perception of the visual vertical. *Acta Oto-laryngologica* vol 70, nro 3, s. 170-175
- Thier P, Ilg UJ. (2005). The Neural basis of smooth-pursuit eye movements. *Current Opinion in Neurobiology*; 15(6):645-652.
- Toiskallio J. (1998). *Sotilaspedagogiikan perusteet*. Tuusula: Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus
- Treisman M. (1977). Motion sickness: An evolutionary hypothesis. *Science* vol 197, s. 493-495
- Tuomi J, Sarajärvi A. (2002). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Jyväskylä: Gummeruksen Kirjapaino Oy
- Uggeldahl V. (2004). *Koulutuksen keskeytymisen syyt*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu. Kandidaatin tutkielma.
- Uggeldahl V. (2006). *Lentopahoinvointiin vaikuttavia tekijöitä OAK:lla*. Helsinki: Maan puolustuskorkeakoulu. Pro-gradu -tutkielma.
- Vapaavuori E ja Sorsa M. (2001). *Human Performance & Limitations*. Helsinki: Tummavuoren kirjapaino.
- Vapaavuori E ja Sorsa M. (2005). *Lentävä Ihminen*. Helsinki: Edita.
- von Baumgarten R, Thumler R. (1979). A model for vestibular function in altered gravitational states. *Life Sciences and Space Research* vol 17, s. 161-170.
- Wist ER, Brandt TH, Krafczyk S. (1983). Oscillopsia and retinal slip. Evidence supporting a clinical test. *Brain: a journal of neurology*; 106:153-168
- Yates B, Miller A, Lucot J. (1998). Physiological basis and pharmacology of motion sickness: An update. *Brain Research Bulletin* vol 47, nro 5, s. 395-406.

Yen-Pik-Sang F, Billar J, Gresty M, Golding J. (2005). Effect of a novel motion desensitization training regime and controlled breathing on habituation to motion sickness. *Perceptual Motor Skills* vol 101, nro 1, s. 244-256.

LIITTEET

Liite 1: Sanasto, 8 sivua

Liite 2: Psykofysiologinen häiriöilmoitus, 3 sivua

SANASTO

Tässä sanastossa on selitetty tutkielmassa käytettyjä sanoja ja lyhenteitä, joita ei oleteta lukijan tietävän. Lukijan oletetaan hallitsevan sotilaslentäjän ammattitermistö ja ohjaajalinjan opetussuunnitelmaan liittyvät opinnot, koska tämä on ohjaajalinjan pro gradu - tutkielma. Sanasto on lainattu teoksesta Lääketieteen termit (2004).

8. aivohermo	Kuulo-tasapainohermo (nervus vestibulocochlearis)
abducens nucleus	nucleus nervi abducentis eli loitontajahermon tumake
aksiaaliakseli	aksiaalitasoa kohtisuoraan oleva akseli, z-akseli
aksiaalitaso	nuolitasoa ja otsatasoa vastaan kohtisuora taso, joka jakaa kehon ylä- ja alapuoleen
artrokineettinen	somatosensorinen
canalis semicircularis anterior	etukaarikäytävä
canalis semicircularis lateralis	sivukaarikäytävä
canalis semicircularis posterior	takakaarikäytävä
contralateralis	kontralateraallinen eli vastapuolinen
crista	krista eli harjanne
cupula	cupula ampullaris eli sisäkorvan harjun päällä sijaitseva, nestevirtauksissa taipuva hyytelömassa, jonka sisällä on liikeaistinsolujen karvoja.
e	englannin kieli
ekstensio	ojennusliike eli liike, joka vie raajan toisiinsa niveltuvia osia kauemmaksi toisistataan, ojentuneeseen asentoon toisiinsa nähden (pään suhteen "leuka ylös"-liike)

esiintyvyys	prevalenssi, vallitsevuus, sairastuvuus eli tautitapausten määrä jossakin populaatiossa jonakin ajankohtana (point prevalence) tai ajanjaksona (period prevalence)
et al.	ja kumppanit
etiologia	taudinsyy, yksittäisen sairauden syy
eksitoituminen	inhiboitumisen vastakohta, hermosolun virittyminen
fleksio	liike joka vie raajan toisiinsa niveltäviä osia koukkuasentoon lähemmäksi toisiaan (pään suhteen "leuka rintaan"-liike)
FLM	mediaalinen pitkittäisjuoste (fasciculus longitudinalis medialis)
FLMtm	keskiaivojen peitteen mediaalinen pitkittäisjuoste (fasciculus longitudinalis medialis tegmenti mesencephali)
fovea centralis	verkkokalvon keskikuoppa
frontaaliakseli	frontaalitasoa kohtisuoraan oleva akseli, x-akseli
frontaalitaso	otsataso eli nuolitasosta ja vaakatasosta suorakulmaisesti poikkeava taso, joka jakaa kehon etu ja taka osaan
G-voima	kiihtyvyyshäiriön aiheuttama voima
illuusio	harha
IMC	Instrumental Meteorological Conditions
inertia	jatkuvuus (fysikaalinen ilmiö) vertaa hitaus
inhiboituminen	eksitoitumisen vastakohta
Instrumental Meteorological Conditions Mittarilento-olosuhteet	

ipsilateralis	samanpuoleinen
kalorinen koe	koe, jossa tutkitaan sisäkorvan kaaritiehyeiden toimintaa ruiskuttamalla korvakäytävään kylmää tai lämmintä vettä tai ilmaa ja tarkkailemalla tästä aiheutuvaa silmävärvettä eli vestibulo-okulaarista refleksiä
keltatäplä	verkkokalvon keskikuoppa eli silmän tarkannäkemisen keskus
keskeinen näkö	tähtäysnäkö, verkkokalvon keskikuoppaa vastaava tarkka näkö
keskitaso	mediaanitaso eli edestä taakse ja ylhäältä alas kulkeva taso, joka jakaa kehon oikeaan ja vasempaan puoliskoon
kineettinen	liikkeeseen liittyvä, liikkuva
kinesthesia	liikeaisti: lihasten, jänteiden ja nivelpussien reseptorien toimintaan perustuva kyky aistia elimistön ja sen osien liikkeit
kontralateraalin	vastapuolinen
korrelaatio	Tarkoittaa asioiden A ja B olevan yhteydessä toisiinsa, vaikka kumpikaan ei aiheuta toista. Esimerkiksi hukkuneiden määrä korreloi syödyn jäätelön määrään, vaikka jäätelön syönti ei hukuta ketään. Kuumana kesänä vain uidaan paljon ja syödään paljon jäätelöä.
ks.	katso
la	latinan kieli
LAR	Launch Acceptability Region, ohjuksen laukaisualue
lineaarinen	suora-, suoraviivainen

makula	täplä, tahra esimerkiksi makula sacculi pyöreän rakkulan täplä eli pyöreän rakkulan seinämässä oleva aistinepiteeli-alue, jonka kohdalla on hyytelön sisällä aistinsolujen karoja sekä tasapainokiviä (otoliitteja)
membrane	membraani (membrana la) eli kalvo
motoneuroni	liikehermosolu eli keskushermoston hermosolu, jonka aksoni vaikuttaa suoraan tai välineuroni(e)n kautta lihassoluihin
motor pathway	liikerata
musculus oblicuus inferior	alavino silmälihas
musculus oblicuus superior	ylävino silmälihas
musculus rectus inferior	alasuora silmälihas
musculus rectus lateralis	ulkosuora silmälihas
musculus rectus medialis	sisäsuora silmälihas
musculus rectus superior	yläsuora silmälihas
nervus	hermo
nervus motorius	liikehermo
neural pathway	hermorata
neuron	hermosolu
nucleus	tumake
nucleus vestibularis	vestibulaaritumake

nuolitaso	edestä taakse ja ylhäältä alas kulkeva taso, joka jakaa kehon oik ja vas osaan (nuolitason erikoistapaus on keskitaso)
ocular counter rolling	silmien kierto x-akselin ympäri kallistettaessa päätä sekä kaarikäytävien että otoliittien aistiman kaalistuksen perusteella
oculomotor nucleus	nucleus nervi oculomotorii eli silmän liikehermon tumake
otoliitit	tasapainokivet
otsataso	frontaalitaso
patogeneesi	taudin synty, käsitys sairauden synnystä ja kehityksestä
perifeerinen näkö	keskeisen tarkan näköalueen ulkopuolelle jäävä näköalue
pitch	rotaatioliike sagittaaliakselin (y-akseli) ympäri (ylös tai alas)
prevalenssi	esiintyvyys
proprioseptio	asento- ja liikeaisti
proprioseptori	lihask- ja jännekääreistä elimistön asentoa ja liikkeitä koskevaa tietoa välittäviä aistinreseptoreja (usein mukaan luetaan myös sisäkorvan tasapaino- ja liikereseptorit)
refleksi	heijaste
reseptori	vastaanotin, aistinreseptori on aistinsolun osa, joka reagoi tietäntyyppiseen ärsykkeeseen
retina	verkkokalvo
roll	rotaatioliike frontaaliakselin (x-akseli) ympäri (vasemmalle tai oikealle)

rotaatio	kiertäminen, kiertyminen; kiertoliike (sisään tai ulos)
rotaatio	kiertäminen, kiertyminen, kiertoliike (sisään tai ulos) raajan pituusakselin tai muun akselin ympäri
sacculus vestibularis	pyöreä rakkula: sisäkorvan eteisessä sijaitseva kalvopussi, jossa on tasapainoaistin aistinsoluja
sagittaaliakseli	sagittaalitasoa kohtisuoraan oleva akseli, y-akseli
sagittaalitaso	nuolitaso
sensorinen neuroni	sensorinen hermosolu, aistitoimintoja välittävä hermosolu
seurantaliike	smooth-pursuit eye movement eli silmän kyky säilyttää liikkuva kohde fovealla
sisäkorvan liikeaisti	aisti, jonka perustana on sisäkorvan liikereseptoreista lähtevien impulssien vaikutus keskushermostoon
sisäkorvan liikereseptori	kiihtyvään tai hidastuvaan kiertoliikkeeseen reagoiva sisäkorvan kaaritiehyiden avartumien karvasoluja (mekanoreseptoreita)
sisäkorvan tasapainoaisti	aisti, jonka perustana on sisäkorvan tasapainoreseptoreista lähtevien impulssien vaikutus keskushermostoon
sisäkorvan tasapainoreseptori	painovoimakenttään ja kiihtyvään suoraviivaiseen liikkeeseen reagoivia sisäkorvan soiken ja pyöreän rakkulan karvasoluja (mekanoreseptoreita)
smooth-pursuit	seurantaliike (silmän)
somatosensorinen	omas kehosta tuleviin tuntoärsykkeisiin liittyvä
syn	synonyymi

tasapainoelin	labyrinthus vestibularis: proprioceptorit sisältävä sisäkorvan kalvosokkelon osa (pyöreä ja soikea rakkula sekä kaaritiehyet)
tasapainokivet	pieniä kalsiumkarbonaattikiteitä, joita on sisäkorvan soikean ja pyöreän rakkulan aistinepiteelialueiden hyytelössä
tasapainokivet	statoliitit, otoliitit: pieniä kalsiumkarbonaattikiteitä, joita on soikean ja pyöreän rakkulan makuloilla
tractus	rata, juoste
tractus vestibulospinalis medialis	mediaalinen vestibulaarimake-selkäydinrata
trochlear nucleus	nucleus nervi trochlearis eli telahermon tumake
tuntoaisti	ihon välittämien useiden aistien (kosketusaisti, värinäaisti, kipuaisti, lämpötila-aisti) yleisnimitys
utricle vestibularis	soikea rakkula: sisäkorvan eteisessä sijaitseva kalvopussi, jossa on proprioseptoreita ja josta kaaritiehyet lähtevät
vektio	suhteellinen liike
verkkokalvo	sisin silmämunan seinämän kolmesta kerroksesta: erikoistuneesta hermokudoksesta muodostunut keskimäärin 0,2-0,3 mm paksu näköinformaatiota vastaanottava ja muokkaava kerros, jossa on mm. valoreseptoreita, näköradan ensimmäiset neuronit sekä muita hermosoluja
verkkokalvon keskikuoppa	verkkokalvon tarkannäkemisen alue, johon tulevat valonsäteet siitä kohteesta, johon silmä on kohdistunut; syn kliininen makula; ks. verkkokalvon makula
verkkokalvon makula	tarkkaan näkemiseen ja värien näkemiseen liittyvä verkkokalvon keskiosa; 1. kliininen makula: verkkokalvon keskikuoppa (suunnilleen näköhermon nystyn kokoinen); 2.

keltatäplä: keskikuoppa ja sitä ympäröivä alue, jossa on keltaista väriainetta ksantofylliä (kliinistä makulaa suurempi alue); 3. anatominen makula: kahden ohimon suuntaan kiertävän verisuonikaaren väliin jäävä silmänpohjan alue, jossa gangliosoluja on enemmän kuin yksi solukerros (keltatäplää laajempi alue)

Visual Meteorological Conditions Näkölento-olosuhteet

VMC

Visual Meteorological Conditions

yaw

rotaatioliike aksiaaliakselin (z-akseli) ympäri (vasemmalle tai oikealle)

PSYKOFYSIOLOGISET HÄIRIÖT LENTOPALVELUKSESSA

Nimi: _____
 Syntymäaika: _____
 Sotilasarvo/Kurssi: _____
 Joukko-osasto: _____
 Päiväys: (tapahtumapäivä) _____

Lennonopettaja: _____

Lentotehtävä: _____

Lomake täytetään, mikäli häiriö on aiheuttanut selvästi normaalista poikkeavan psykofysiologisen kokemuksen tai mikäli häiriöstä on ollut haittaa tai vaaraa lentotehtävän suorittamiselle.

Jäljempänä olevan jakelun toteutumisesta on ehdottomasti huolehdittava.

1. Häiriön luonne

<input type="checkbox"/>	pahoinvointi
<input type="checkbox"/>	oksentelu
<input type="checkbox"/>	huimaus
<input type="checkbox"/>	pimeneminen G:n alaisena
<input type="checkbox"/>	tajunnan menetys G:n alaisena
<input type="checkbox"/>	kivut rintakehässä
<input type="checkbox"/>	kivut nivelissä
<input type="checkbox"/>	suljettujen onteloiden kivut (korvat, otsa-poskiontelot)
<input type="checkbox"/>	muu

Selvitys:

2. Häiriö tapahtui

<input type="checkbox"/>	ohjaajalle
<input type="checkbox"/>	opettajalle
<input type="checkbox"/>	oppilaalle
<input type="checkbox"/>	mekaanikolle
<input type="checkbox"/>	matkustajalle
<input type="checkbox"/>	tähystäjälle
<input type="checkbox"/>	muulle henkilölle kenelle:

Selvitys:

3. Häiriö tapahtui

	maassa käynnistysvaiheessa
	maassa rullauksen aikana
	lentoönlähdön aikana
	lennon aikana
	loppukiidon aikana
	lennon päätyttyä

Selvitys:

4. Häiriö aiheutti

	ei haittaa tehtävän suoritukselle
	tehtävän muuttamisen, mutta lentoa jatkettiin
	tehtävän välittömän lopettamisen ja laskuun saapumisen
	muuta

Selvitys:

5. Selvitys syistä

	ei tietoa syystä
	syy on epävarma
	syy on selvitetty

Selvitys:

6. Lentotehtävän luonne

	ei tietoa
	harjoituslento ilman suurta G-rasitusta
	harjoituslento suuren G-rasituksen kanssa
	matkalento
	muu

Selvitys:

LAUSUNNOT:

J-os lääkäri

Ltuepääll

Laivkom

Lt-ups

J-os:n kom

PÄÄTÖS: (Ylilääkäri)

JAKELU

Tervhtsto/IlmavE
Joukko-osaston lääkäri

TIEDOKSI

Lntturvtsto/IlmavE

Joukko-osaston lentoturvallisuusupseeri taltioi alkuperäiskappaleen.